



**PRISMA**

O CONHECIMENTO EM CORES

Sune Engelbrektson

# ESTRELAS, PLANETAS E GALÁXIAS



Edições Melhoramentos

Editora da Universidade de São Paulo



**Coordenação:**

**Prof. Mário Guimarães Ferri**

**e**

**Prof. Antônio Brito da Cunha**

**do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo**



Série Prisma

SUNE ENGELBREKTSON

# ESTRELAS, PLANETAS E GALÁXIAS

Tradução de  
Edith de Barros Martins



Edições Melhoramentos  
Editora da Universidade de São Paulo





*Obra publicada  
com a colaboração da*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Reitor:** Prof. Dr. Waldyr Muniz Oliva

EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Presidente:** Prof. Dr. Mário Guimarães Ferri

Comissão Editorial:

**Presidente:** Prof. Dr. Mário Guimarães Ferri (Instituto de Biociências). **Membros:** Prof. Dr. Antonio Brito da Cunha (Instituto de Biociências), Prof. Dr. Carlos da Silva Lacaz (Faculdade de Medicina), Prof. Dr. Pêrsio de Souza Santos (Escola Politécnica) e Prof. Dr. Roque Spencer Maciel de Barros (Faculdade de Educação).

Título do original em língua inglesa:

STARS, PLANETS, AND GALAXIES

© 1975 by The Ridge Press, Inc., Nova York

Texto preparado sob a supervisão de Laurence Urdang Inc.

---

Todos os direitos reservados

Comp. Melhoramentos de São Paulo, Indústrias de Papel  
Caixa Postal 8120, São Paulo

Lx - VIII - 1980

Nos pedidos telegráficos basta citar o cód. 7-02-16-058



## QUE É "PRISMA"

A Série PRISMA — o Conhecimento em Cores — nasceu da necessidade de se proporcionar ao homem moderno um conjunto de sínteses essenciais, de fácil consulta e manejo, nas áreas mais importantes da ciência e da tecnologia, desde as escavações arqueológicas à conquista espacial.

Constitui-se ela em séria e importante reunião de conhecimentos disponíveis desde descobertas básicas e definitivas até a exposição de audaciosas hipóteses, que estão contribuindo, hoje, para novas aberturas na evolução do saber.

Cada original da série foi elaborado por autor de comprovada competência no respectivo ramo e escrito para ocupar o espaço de um volume de bolso. Os textos estão fartamente documentados por ilustrações a cores. As traduções contaram com a colaboração de especialistas e de professores da Universidade de São Paulo.

A Melhoramentos sente-se realmente entusiasmada por ter encontrado esta série entre as várias coleções de bolso do gênero que pesquisou no mundo inteiro. E é ainda maior o seu entusiasmo em poder colocá-la à disposição do público brasileiro, com o prestigioso estímulo da Editora da Universidade de São Paulo, numa apresentação que, certamente, honrará as tradições editoriais, como mais uma contribuição de valor, neste momento de acelerado desenvolvimento cultural e tecnológico que o mundo está vivendo.

**Edições Melhoramentos**



## Fontes das Ilustrações

- c. = em cima
- b. = embaixo
- m. = no meio
- d. = à direita
- e. = à esquerda

American Museum of Natural History: 7, 9, 59; Cerro Tololo Inter-American Observatory: 127; Sune Engelbrektson: 39, 69 (c.); S. I. Gale: 25, 29 (m.), 31, 34, 35, 37, 66, 70; Georg Gerster (Rapho-Guillumette): 69 (b.); The Grainger Collection, N. Y.: 10, 107 (b.); Hale Observatories: 22, 60-61, 72, 74-75, 76-77, 101, 108, 119, 121, 124-125, 126, 128, 129, 131 (c. e., m. e b.), 132; Harvard College Observatory: 49; Kitt Peak National Observatory: 84 (c. e. e b. e.), 85, 127; Lick Observatory: 63 (b.), 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 99, 103, 105, 107, 109, 116, 131, (c. d.); Nilo Lima (Rapho-Guillumette): 58; George Lovi: 4-5, 19, 29 (b.), 71; Thomas W. Martin (Rapho-Guillumette): 12; Mount Wilson and Palomar Observatory: 84 (b. d.); NASA: 3, 65, 82, 93, 96-97, 104, 136-137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 153, 154, 155; National Radio Astronomy Observatory: 81; Sacramento Peak Observatory: 83, 84 (c. d.); Space Geology Laboratory: 100; TRW Systems Group: 123; Yerkes Observatory: 79, 102

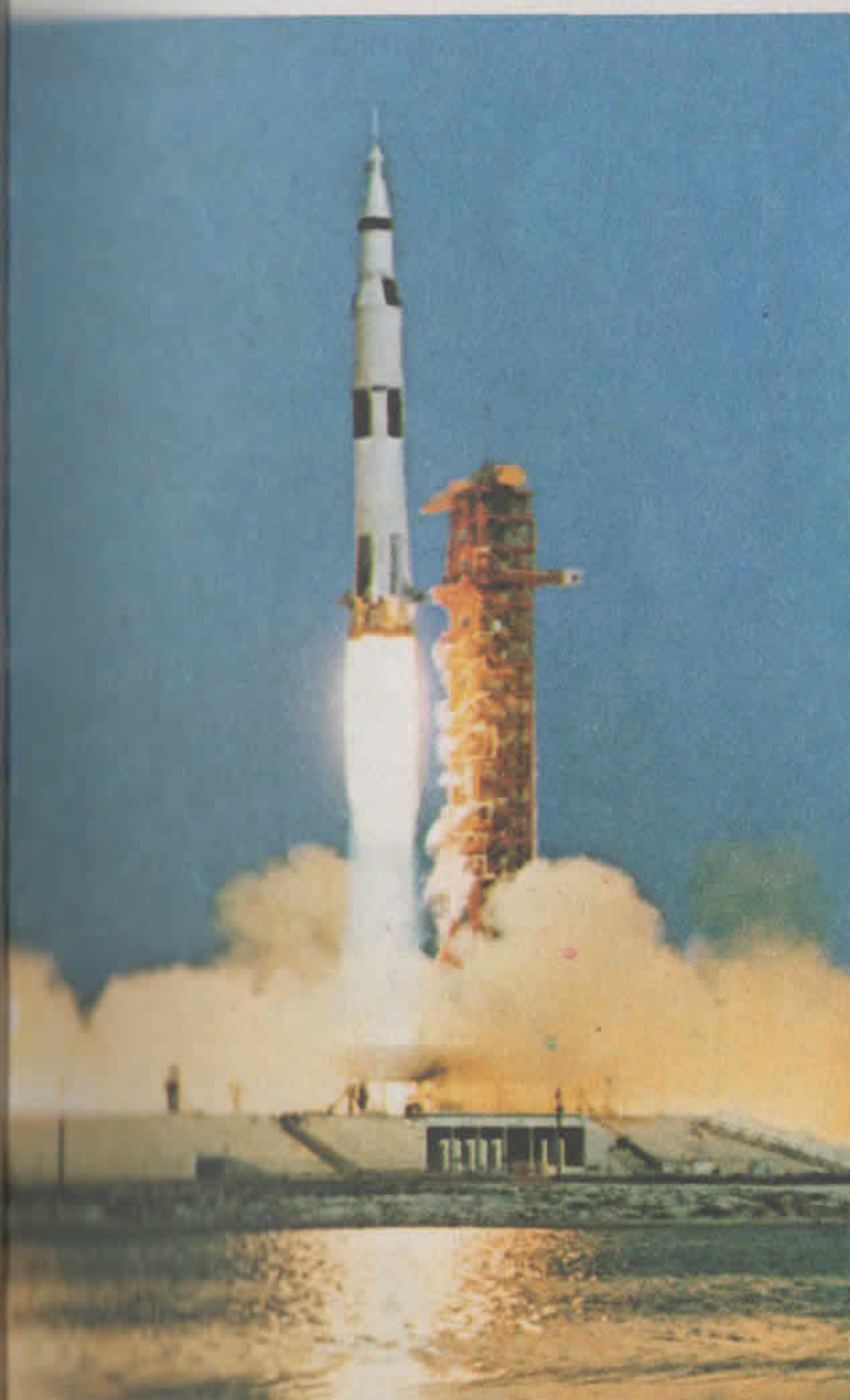
Frontispício: S. I. Gale

Sumário: (c., Jupiter; (b., Apollo 11): NASA

Mapas estelares: George Lovi

Diagramas: Kelly Parsons





## SUMÁRIO

### 1ª Parte

#### O Céu Visível

- 8 O Significado da Astronomia
- 15 O Sol
- 25 As Estrelas
- 61 A Lua
- 72 Os Planetas
- 75 A Via-láctea
- 76 Outros Sistemas Estelares

### 2ª Parte

#### Pelo Telescópio

- 80 Telescópios
- 84 A Estrutura do Sol
- 88 A Face da Lua
- 98 O Sistema Solar
- 111 As Estrelas e Sua Evolução
- 126 Um Universo de Galáxias

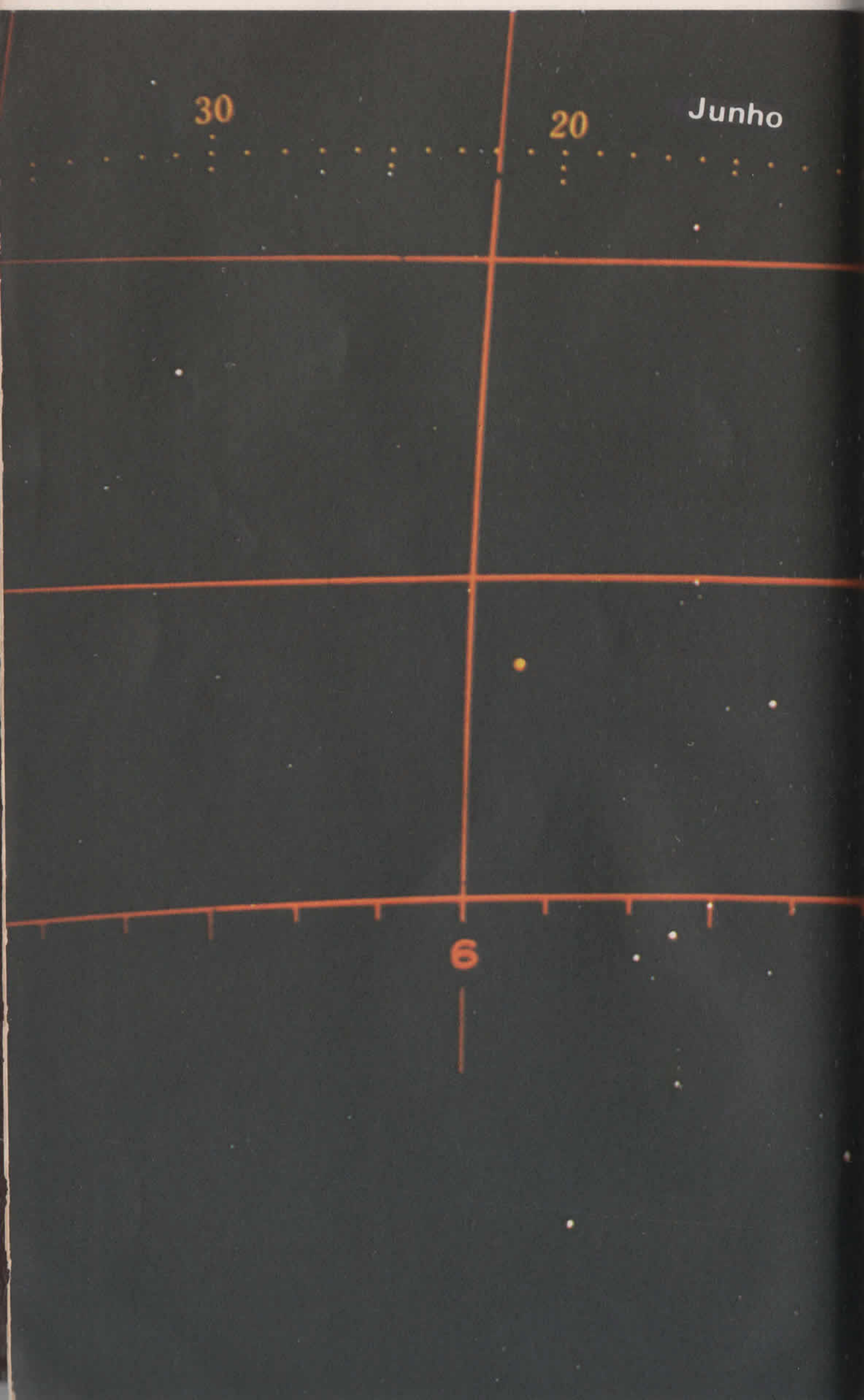
### 3ª Parte

#### A Exploração Por Satélites

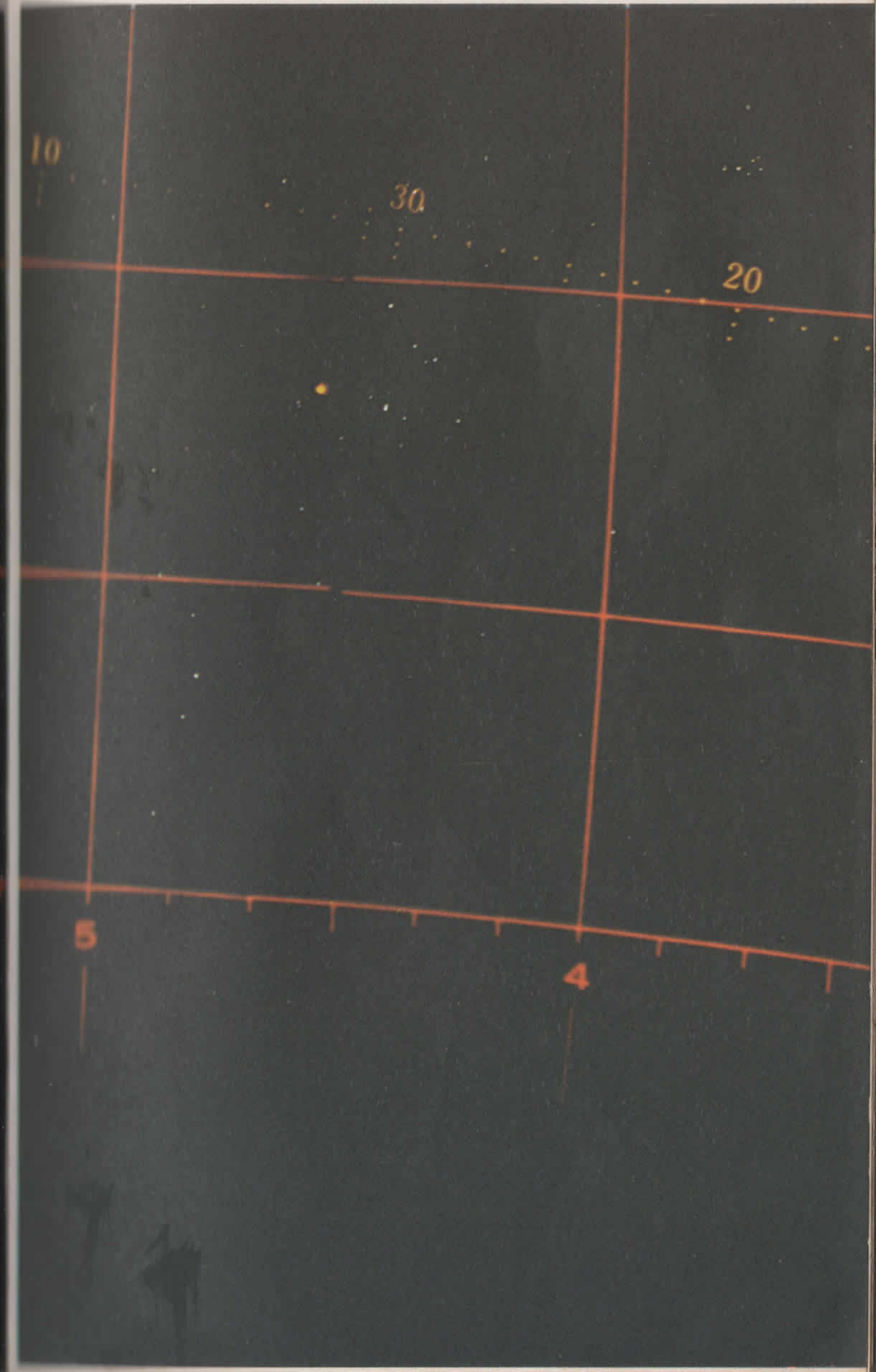
- 140 Em Redor da Terra
- 143 Exploração da Lua
- 146 Sondas Planetárias
- 152 Homens no Espaço



# 1ª Parte. O Céu Visível



A região de *Orion* com  
coordenadas celestes e a eclíptica  
marcando a trajetória anual do Sol (junho - maio).





# O SIGNIFICADO DA ASTRONOMIA

Desde suas origens, o homem sempre se sentiu fascinado pelo universo que o rodeia. Parecia, ao observador primitivo, que ele estava no centro de tudo, com capacidade para procurar se entender e compreender o papel que desempenhava no cosmo. O firmamento estrelado inspirou sua filosofia.

Havia temor pelo desconhecido — forças em atividade que desafiavam as explicações. Os objetos celestes executavam movimentos significativos que pediam uma interpretação e o homem tinha que saber se esses sinais lhe eram dirigidos.

O Sol e a Lua são os objetos mais conspícuos do céu e era natural a suposição de que eles regulavam o dia e a noite. Durante os eclipses, o Sol e a Lua provocavam terror. Por ocasião de um eclipse solar, o céu do meio-dia escurece, pois a Lua passa pela face do Sol. Quando a Lua é eclipsada, passa pela sombra da Terra e fica imersa na luz avermelhada do crepúsculo, há provas de que, desde a época neolítica, o homem já era capaz de prognosticar esses acontecimentos assustadores.

Ocasionalmente, um cometa aparecia e era considerado um sinal maléfico. Esses portadores de más notícias eram chamados de *aster kometes* ("estrelas de cabelos longos") pelos gregos. O Sol, a Lua e os cinco planetas visíveis a olho nu eram chamados de *Planetes* ("errantes") pelos gregos. Hoje a palavra *planeta* se refere aos corpos, incluindo a Terra, que giram em redor do Sol. O Sol é uma estrela e a Lua é o satélite natural da Terra. Acreditava-se que os movimentos dos sete *planetes* antigos afetavam o destino do homem e esta crença de que a razão cósmica ordena o universo foi o início da *astrologia*.

Mas os objetos celestes também eram estudados tendo em vista objetivos mais práticos, como marcar o tempo e medir os dias, as estações e o ano. Ampliando-se o conhecimento, as crenças supersticiosas da astrologia cederam lugar a investigações mais objetivas e a *Astronomia*, a ciência do firmamento, que começou com o temor que o homem sentia pelo desconhecido, dá continuidade à esta procura de um entendimento melhor do universo.

## Mitologia do Firmamento

Depois do poente, as primeiras estrelas e, às vezes, um ou dois planetas aparecem na luz crepuscular. Sem lua, o céu fica escuro e as estrelas mais apagadas tornam-se visíveis. As estrelas parecem fixas na abóbada celeste, todas à mesma distância da Terra. Os antigos achavam que as estrelas agrupadas na mesma área estavam próximas umas das outras, formando vários desenhos chamados *constelações*, que imaginavam como sendo os contornos de várias criaturas reais ou fictícias. Ursos, leões e serpentes eram visualizados entre as estrelas.





O homem primitivo interpretava os fenômenos celestes naturais, como chuvas de meteoros, como acontecimentos temíveis que afetavam seu destino.

Além dos animais encontrados na terra, havia unicórnios celestes, dragões, centauros e os demônios do folclore. Outras partes do céu continham heróis, deuses e deusas da mitologia antiga. O céu proporcionava uma maneira de ilustrar histórias que ainda fascinam o leitor.

Cada civilização isolada encontrou suas próprias histórias nas estrelas, contos que refletiam o modo de vida de povos com pouco ou nenhum contato mútuo. No mundo mediterrâneo, a faixa indistinta de estrelas brilhantes é chamada de Via-láctea. Para os índios norte-americanos eram as fogueiras dos acampamentos dos guerreiros mortos, a caminho do Campo da Boa Caça. Os nomes de estrelas, as histórias e as constelações são semelhantes onde foi possível a interação. Coisa interessante, a Ursa Maior parecia um urso tanto para os povos mediterrâneos como para os índios norte-americanos.

## Astronomia da Antiguidade

Antes da era atual, os gregos fizeram progressos notáveis na descrição dos fenômenos celestes. Eudoxo (408-355 a.C.) sugeriu que os corpos celestes estavam fixos em esferas transparentes que giravam



em eixos separados. Mais tarde, Eratóstenes (276-195 a.C.) mediu a circunferência da Terra. Ele observou que a 21 de junho os raios do Sol de meio-dia em Syene, no Egito, refletiam-se de um poço. Syene, perto da moderna Assuan, está no Trópico de Câncer, onde o Sol está no zênite (diretamente a prumo) no solstício de junho, o primeiro dia do verão. Ao norte, em Alexandria, o Sol está a 7° do zênite nessa data. Como 7° é cerca de 1/51 do círculo, a distância entre Syene e Alexandria é igual a 1/51 da circunferência da Terra. A Terra era considerada como sendo uma esfera.

Hiparco (cerca de 150 a.C.), entre muitas realizações, imaginou o conceito de corpos celestes movendo-se em epiciclos e deferentes. Ele forneceu a Cláudio Ptolomeu (100-178 d.C.) observações sistemáticas, expostas depois no *Almagesto*, o maior trabalho astronômico da Antiguidade. No *Almagesto*, Ptolomeu descreve seu *sistema geocêntrico do mundo*, com o Sol, a Lua e os planetas movendo-se em redor da Terra, no centro. Os planetas giram num epiciclo, cujo centro traça uma deferente em redor da Terra. O sistema foi usado com modificações até o século XVI, quando Copérnico introduziu a *hipótese heliocêntrica*.

## De Copérnico a Newton

O século XVI trouxe uma grande mudança no conceito que o homem tinha de seu planeta e de sua posição no sistema cósmico. Na era da exploração, a Terra foi circunavegada, provando, de uma vez por todas, que a região do Mediterrâneo não estava no centro do mundo. Isto significava aceitar a possibilidade de que a Terra não era o centro do universo.

Nicolau Copérnico (1473-1543) descreveu um sistema com o Sol no centro. Sua hipótese heliocêntrica, encontrada em seu livro *De Revolutionibus*, podia explicar os movimentos dos planetas sem recorrer aos inúmeros epiciclos necessários para o sistema geocêntrico.

Depois, Galileu Galilei (1564-1642) deu forte apoio ao sistema heliocêntrico com suas observações telescópicas. Ele reconheceu montanhas na Lua, como também mares e crateras. Mas sua descoberta dos quatro satélites de Júpiter, chamados de luas galileanas, provou que outros planetas eram capazes de atrair corpos celestes. Ele observou o planeta Vênus passando por fases semelhantes às da Lua durante seu período de revolução.

Mais ou menos na mesma época, Johannes Kepler (1571-1630), usando as tabelas precisas do movimento dos planetas de Tycho Brahe (1546-1601), formulou três leis do movimento planetário: que os planetas giram em órbitas elípticas; que o segmento de reta entre o planeta e o Sol varre áreas iguais em intervalos iguais de tempo; e que os quadrados dos períodos siderais dos planetas estão em proporção direta aos cubos da distância entre eles e o Sol.

Em cima: O sistema geocêntrico de Ptolomeu descrevendo os movimentos planetários. Embaixo: O sistema heliocêntrico de Copérnico, com órbitas em redor do Sol









Isaac Newton descobre que a luz do Sol é uma mistura das cores do arco-íris, chamada espectro.

Isaac Newton (1642-1727) descreveu os movimentos dos planetas em termos de massa, momento e força. Para manter uma órbita em redor do Sol, o planeta acelera em direção ao centro. Esta força centrípeta é a gravitação. Newton expressou matematicamente sua lei da gravitação universal, que afirma que cada partícula no universo é atraída para as outras partículas com uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre cada uma.

## A Astronomia no século XIX

O século XIX celebrou-se por seus progressos na astronomia estelar. Herschel (1738-1822), que descobriu o planeta Urano em 1781, localizou 2.500 nebulosas e 806 estrelas duplas e, para determinar a distribuição estelar, contou o número de estrelas em campos especificados. Ele chamou seu método de *avaliação* de estrelas. Herschel, o fundador da astronomia estelar, também fez um estudo sistemático sobre o brilho aparente das estrelas.



O primeiro planeta menor, ou asteróide, chamado Ceres, foi descoberto por Piazzi em 1801, seguido pela descoberta de muitos outros. Hoje são conhecidos milhares de asteróides. Uma perturbação do movimento de Urano provocou a descoberta de Netuno em 1846. Tanto Leverrier, na França, como Adams, na Inglaterra, localizaram o planeta matematicamente — um triunfo da teoria gravitacional de Newton. Durante o século XIX, houve muitos progressos no desenho de telescópios e de outros instrumentos. A invenção do espectroscópio trouxe a descoberta das *linhas de Fraunhofer* no espectro solar e estelar, revelando tanto composições químicas como movimentos da linha de visão. A fotografia deu grande impulso à astronomia do século XX, favorecendo a descoberta da natureza das nebulosas e de estrelas que se tornaram visíveis por meio de longas exposições.

## A Astronomia do século XX

Em 1922, usando o Telescópio Hooker de 2,5m em Monte Wilson, Edwin Hubble fotografou estrelas variáveis na Galáxia de Andrômeda. Essas estrelas proporcionaram a maneira de medir as distâncias de sistemas de estrelas afastados. Cerca de 30 anos mais tarde, o Telescópio Hale de 5m encontrou milhões de galáxias estendendo-se por bilhões de anos-luz sem uma diminuição na população. Quando se examinou a luz das galáxias, verificou-se que estas estavam se afastando umas das outras, o que indica que o universo está se expandindo. A descoberta da energia nuclear e as teorias da relatividade de Albert Einstein tornaram possíveis a compreensão dos processos internos necessários para que o Sol e as estrelas se mantenham brilhantes por bilhões de anos.

Em 1931, Karl Jansky desenhou o primeiro radiotelescópio, o que permitiu a detecção e a interpretação da radiação de radiofrequência de comprimentos de onda longos. A poeira e as nuvens de gás nos braços da Via-láctea foram traçadas com radiotelescópios, proporcionando uma descrição melhor da estrutura de nossa Galáxia. Encontraram-se novos objetos como os *pulsares* e os *quasares*. Os pulsares são os remanescentes ou o estágio final de estrelas. Os quasares ainda não foram bem compreendidos.

A exploração por meio de satélites começou em 1957, abrindo uma nova era na astronomia. Somente a luz e a radiação de radiofrequência podem atravessar a atmosfera da Terra, chegando nos observatórios da superfície. Os satélites detectaram fontes de raios X que são consideradas como sendo *buracos pretos* ou *colapsares*, o estágio final de estrelas maciças. Sondas fizeram descobertas e fotografaram vários planetas. E, em 1969, os astronautas desceram na Lua, realizando um sonho de exploração espacial antiquíssimo.





O Sol nascente parece achatado pela refração ou curvatura da luz na atmosfera inferior perto do horizonte.



# O SOL

Há poucos acontecimentos celestes acessíveis a todos os observadores que podem se rivalizar com a beleza e a majestade do nascer do Sol. Na *Iliada*, Homero interrompeu a batalha entre os gregos e os troianos para descrever os matizes de açafrão do céu no alvorecer.

Mas o Sol, nascendo no leste, atravessando o céu durante o dia e se pondo no oeste no ocaso, revela muito pouca coisa de sua verdadeira natureza. O Sol é uma estrela. Na verdade, é a única estrela suficientemente próxima para ser bem observada. O Sol aparece como uma esfera de gases incandescentes, enquanto que todas as outras estrelas são apenas pontos de luz. Se o Sol estivesse localizado tão longe quanto a maioria das estrelas brilhantes, seria fraco demais para ser observado sem um telescópio.

A luz do Sol é uma mistura de todas as cores do arco-íris. O azul do céu durante o dia é causado pelas luzes violeta e azul espelhadas pelas moléculas do ar no alto da atmosfera da Terra. Perto da superfície, o ar contém poeira e vapor d'água, o que permite que as luzes laranja e vermelha do Sol atravessem mais rapidamente do que a azul, resultando no clarão vermelho familiar do crepúsculo, quando o Sol no horizonte brilha através da atmosfera inferior.

O movimento do Sol através do céu é, naturalmente, ilusório. O percurso aparente diário (*diurno*) em direção ao oeste é um reflexo da *rotação* da Terra (rotação axial). A Terra parece imóvel — *terra firma* — com o céu alternando o dia e a noite por todo o ano.

## O Movimento Diurno Aparente do Sol

Observada de cima do pólo norte, a Terra roda da *esquerda para a direita*, do oeste para o leste, num período de 23 horas, 56 minutos, 4 segundos. O observador na Terra participa desse movimento e vê os objetos no firmamento cruzarem o céu do leste para o oeste. A exceção será para um observador nos pólos norte e sul, onde os objetos celestes giram em círculos concêntricos acima do horizonte.

Nas latitudes médias dos hemisférios norte e sul, o Sol e as estrelas parecem *nascer* e *se pôr*. Esses termos refletem a velha crença de que o céu está em movimento. O que ocorre realmente é o abaixamento do horizonte oriental, revelando novos objetos no leste, enquanto que o horizonte ocidental sobe, cobrindo aqueles que estão no oeste.

O Sol nascente ou poente tornou-se conveniente para regular as atividades na Terra. No oriente ao amanhecer, o Sol ocupa seu ponto mais alto ao meio-dia e atinge o ocidente no crepúsculo. No hemisfério norte, o *arco diurno* (trajetória diária) do Sol é em direção ao sul; no hemisfério sul, o Sol estará ao norte ao meio-dia. Entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio, a posição do Sol ao meio-dia dependerá da época do ano e da latitude da qual é observado.



## Os Equinócios e os Solstícios

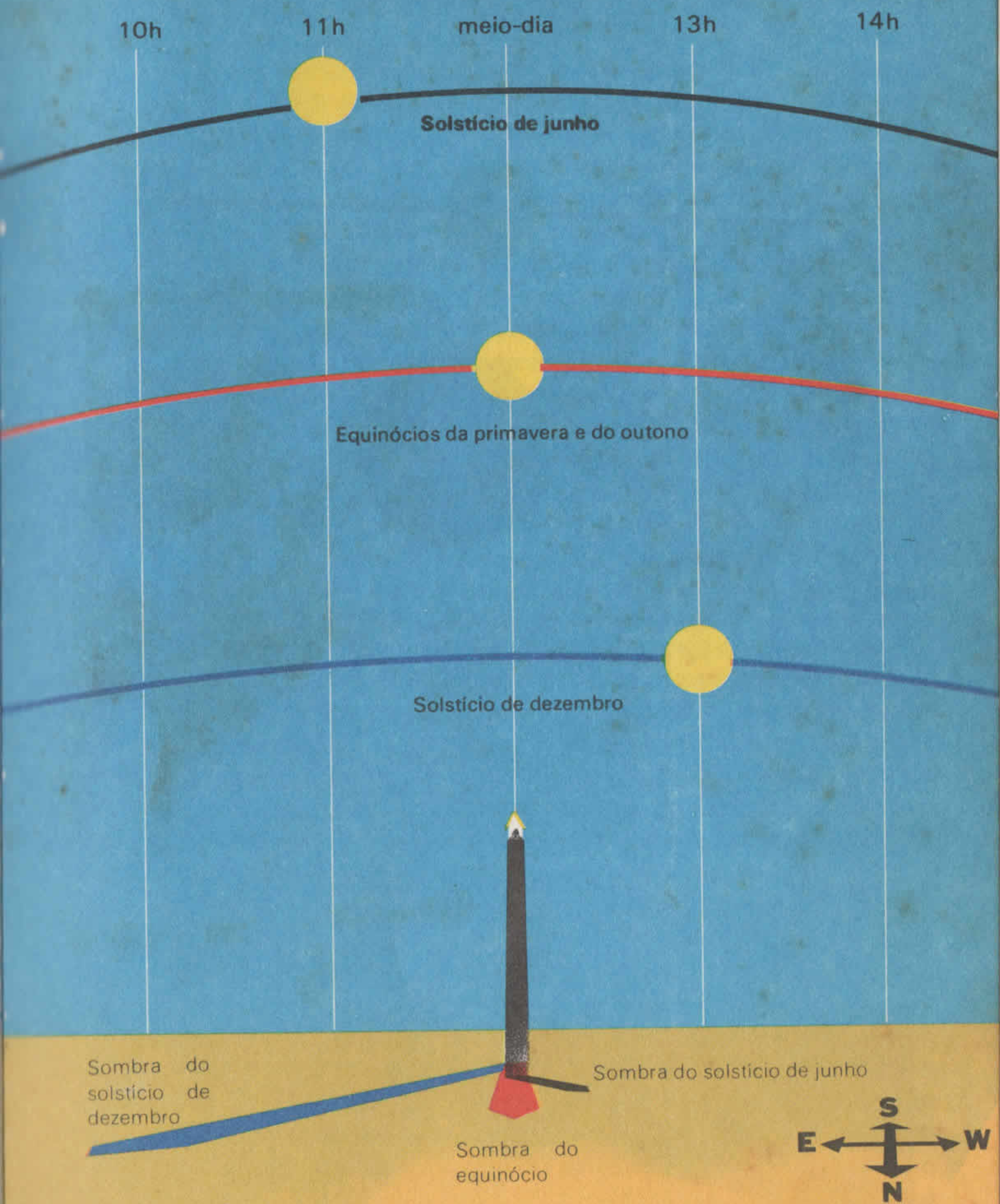
Os antigos fizeram observações cuidadosas do Sol por motivos religiosos. Isto ocorreu em muitas culturas bastante afastadas, como o povo maia na América Central, os construtores neolíticos de Stonehenge na Inglaterra e os planejadores das pirâmides no Egito. Era imperativo saber o movimento exato e a posição desse deus-sol em todas as épocas. Templos e outros edifícios eram construídos para determinar o ponto exato do nascer do Sol no oriente. Isto podia ser obtido com uma linha através de dois monólitos separados ou pela direção da sombra projetada por um obelisco. Esses povos primitivos descobriram que, durante o ano, o Sol não nasce cada dia no mesmo ponto. No hemisfério norte, o Sol nasce a norte do leste na primavera e no verão, quando os dias são mais longos do que as noites, e a sul do leste durante os dias curtos no outono e no inverno. Entre esses extremos, durante o plantio e seis meses mais tarde, na época das colheitas, o Sol levanta-se no ponto leste do horizonte e a duração do dia e da noite é mais ou menos a mesma. O Sol variável tornou-se um deus para ser adorado, proporcionando, principalmente, uma maneira de medir o tempo por um longo período, o que era necessário numa sociedade agrícola.

Quando o Sol está tão ao norte ou ao sul quanto possível, é necessário cerca de uma semana para se detectar qualquer alteração apreciável em sua trajetória pelo céu. O Sol está então nos *solstícios*. A origem da palavra solstício significa “(o) Sol ficou parado”. O Sol atinge os solstícios em 21 de junho e em 21 de dezembro no calendário solar empregado em vários países do mundo. Geralmente, no hemisfério norte, o solstício de junho é chamado de solstício de verão e o solstício de dezembro de solstício de inverno. Como as datas das estações no hemisfério sul são o oposto das do hemisfério norte, os termos solstícios de junho e de dezembro são considerados mais apropriados para uma aplicação mundial. Como o Sol nasce ao norte e ao sul do leste em diferentes épocas do ano, pelo menos duas vezes durante o ano deve estar exatamente no ponto leste no alvorecer. E, de fato, o Sol levanta-se no leste duas vezes cada ano, na época dos *equinócios*, os primeiros dias da primavera e do outono nas latitudes médias. Equinócio significa “noites iguais” e denota uma época em que a duração da noite e do dia é a mesma em todo o mundo.

Os solstícios e os equinócios são pontos na esfera celeste como também datas do ano. Por exemplo, o equinócio de março, no dia 21, refere-se a uma mudança de estação, isto é, ao primeiro dia da primavera no hemisfério norte e ao primeiro dia do outono no hemisfério sul. O equinócio de março também designa o ponto do céu ocupado pelo Sol em 20 ou 21 de março.

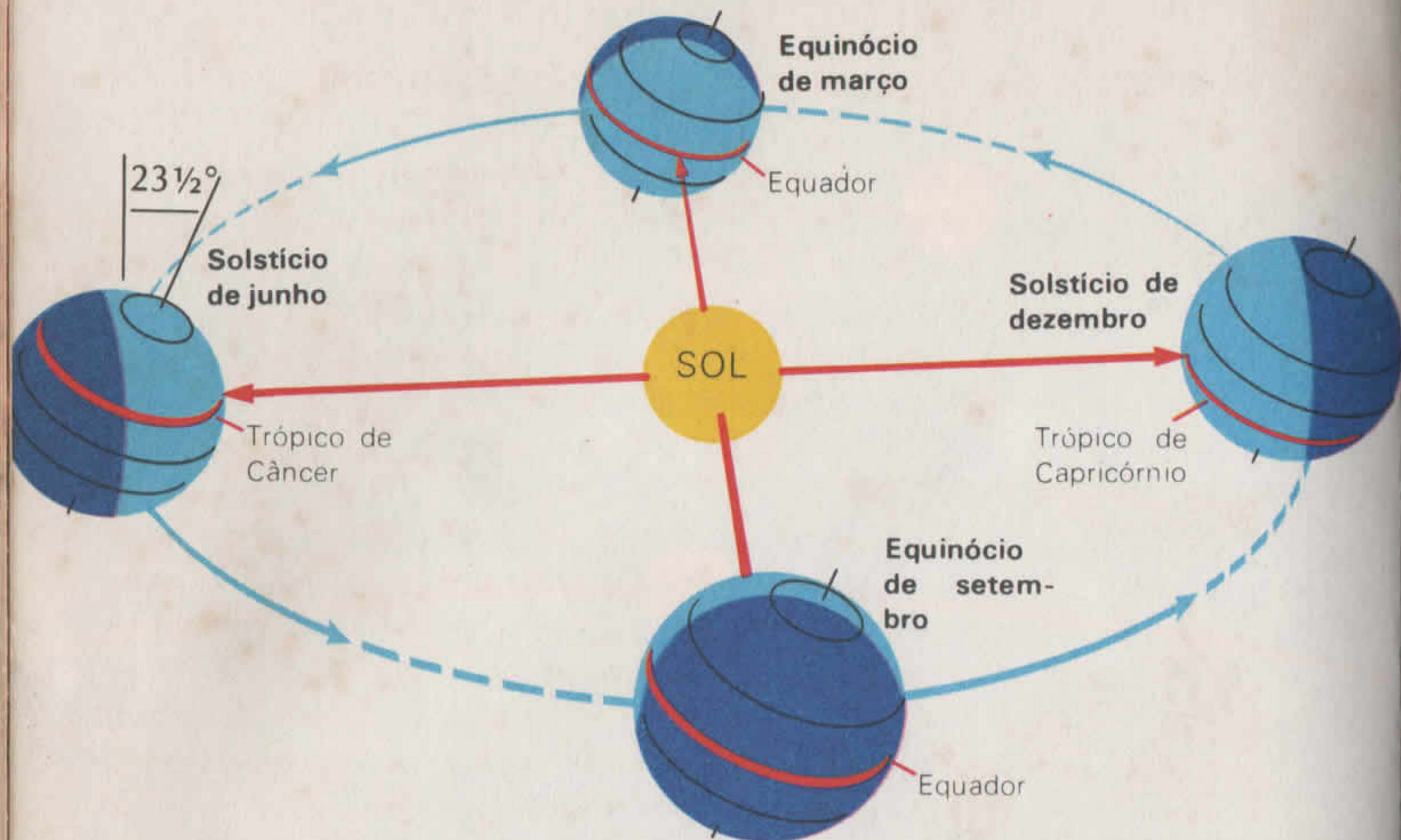
No equinócio de março, o Sol levanta-se exatamente no leste. Nesse dia, o Sol atinge o zênite (o ponto precisamente a prumo ao meio-dia),





diretamente sobre o equador, e deita-se exatamente no oeste no anoitecer. Nas latitudes médias, o Sol traçará sua trajetória diária do leste para o oeste entre o zênite e o horizonte. No hemisfério norte, o Sol parece passar ao sul do zênite, enquanto que, no hemisfério sul, dá impressão de estar ao norte. Visto dos pólos norte ou sul, o Sol parece acompanhar o horizonte sem se levantar ou se deitar por todo o período da rotação da Terra.





## As Estações

A inclinação do eixo da Terra para o plano orbital e sua revolução em redor do Sol causam o movimento aparente do Sol ao norte e ao sul do equador. Em 21 de junho, o pólo norte geográfico está inclinado  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ , da perpendicular para o plano orbital, na direção do Sol. No lado do dia, o equador está abaixo do plano da órbita da Terra de maneira que os raios diretos do Sol atingem a Terra no *Trópico de Câncer*,  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  ao norte do equador. O verão começa no hemisfério norte enquanto que o inverno principia no hemisfério sul. O *círculo de iluminação* (a linha separando o dia e a noite) está sempre perpendicular aos raios do Sol. No hemisfério norte, a inclinação do eixo permite que uma área da superfície maior fique exposta à luz do dia, criando um dia longo e uma noite curta. Ocorre o inverso no hemisfério sul. No equador, a duração do dia e da noite permanece mais ou menos a mesma durante todo o ano. No hemisfério norte, durante o verão, a área de terra ao norte do *Círculo Ártico* recebe 24 horas de luz do dia, causando o fenômeno do "sol de meia-noite". No pólo norte geográfico, o Sol permanece acima do horizonte do equinócio de março até o de setembro.

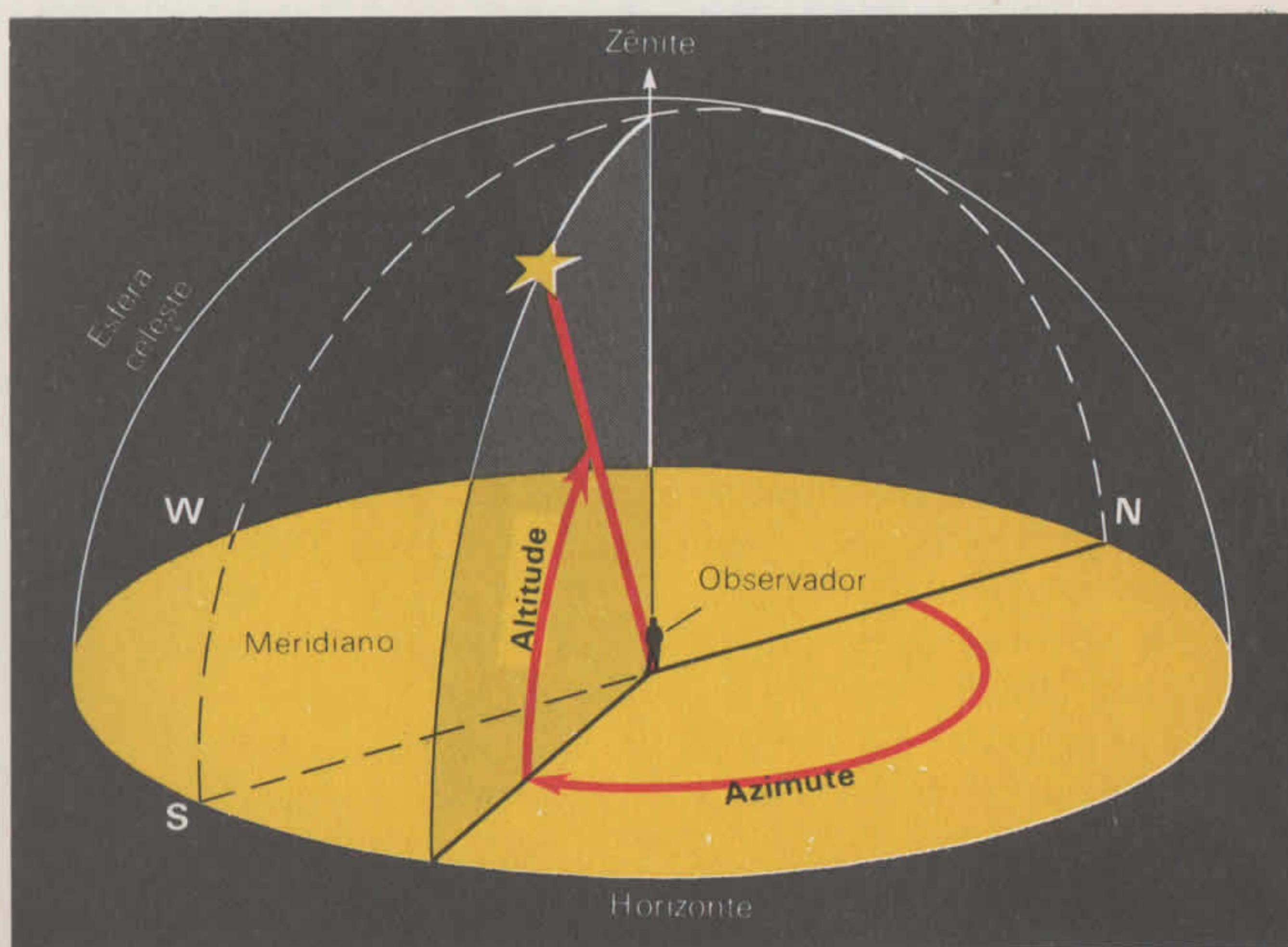
No hemisfério sul, a área entre o *Círculo Antártico* e o pólo sul geográfico fica na escuridão na época do solstício de junho. Seis meses depois, no solstício de dezembro, os raios diretos do Sol estarão no *Trópico de Capricórnio* e o verão começa no hemisfério sul. Nos equinócios de março e de setembro, o eixo da Terra não aponta para o Sol nem para a direção oposta; nesses dias os raios diretos do Sol atingem o equador e a primavera e o outono começam, com dias e noites de duração igual em ambos os hemisférios.



## O Sistema de Coordenadas do Horizonte

Na Terra, as localidades e as posições são determinadas por um sistema de coordenadas que medem a distância em graus de arco a norte e a sul do equador e a leste ou a oeste de um grande círculo (Primeiro Meridiano ou Meridiano de Greenwich),  $90^\circ$  em relação ao equador. Usa-se um sistema semelhante para determinar as posições do Sol, da Lua e das estrelas. O céu é considerado uma esfera enorme, infinita, sobre o observador, com esses objetos na superfície interna desta esfera.

O primeiro sistema celeste é chamado de *sistema de coordenadas do horizonte* e é gerado em redor do observador. Este se acha no centro da esfera celeste. Seu plano horizontal encontra o céu no horizonte e corta a esfera celeste em duas partes. O zênite é o ponto diretamente a prumo, a  $90^\circ$  do horizonte. O nadir é o ponto correspondente no lado oposto da esfera celeste. Uma linha do zênite ao observador, ao nadir, passa pelo centro da Terra. *Círculos verticais*, saindo do zênite, cruzam o horizonte a  $90^\circ$ . O círculo vertical passando pelo ponto norte no horizonte, o zênite, e pelo ponto sul é chamado de *meridiano celeste*. Todos os observadores no mesmo meridiano da Terra têm o mesmo meridiano celeste, mas seus zênites variam de acordo com suas distâncias do equador. As posições dos objetos no sistema do horizonte são medidas em *azimute* e *altitude*. Azimute é o ângulo ao longo do horizonte medido do norte em direção ao leste. Altitude é o ângulo que um objeto faz com o horizonte medido ao longo de seu círculo vertical.





## O Meridiano Celeste

O *meridiano celeste* é definido como o círculo vertical na esfera celeste que passa pelos pontos norte e sul no horizonte, dividindo o céu em hemisfério oriental e ocidental. O meridiano pode ser considerado o meridiano de longitude do observador na Terra estendido à esfera celeste. Quando a Terra gira, observador e seu meridiano celeste são levados para o leste. Como resultado, as estrelas parecem se dirigir para o oeste, percorrendo ou cruzando o meridiano celeste. O trânsito do meridiano é importante para marcar o tempo e para determinar posições de objetos na esfera celeste.

Encontram-se dois pontos adicionais no meridiano do observador. São os *pólos norte e sul celestes*. Quando a Terra roda em seu eixo, o céu parece girar nesses pólos.

A localização dos pólos celestes ao longo do meridiano depende da latitude do observador (distância angular ao norte ou ao sul do equador). Nos pólos norte e sul geográficos, o pólo celeste correspondente está no zênite. Se alguém estender o equador da Terra à esfera celeste e dividir esta com um grande círculo, chamado *equador celeste*, entre os pólos celestes, este equador celeste coincidirá com o horizonte nos pólos. No equador da Terra, o equador celeste se estenderá do ponto leste, através do zênite até o ponto oeste, com os pólos celestes nos pontos norte e sul do horizonte.

Nas latitudes mais próximas do equador da Terra, a altura do equador e dos pólos celestes acima do horizonte dependerá da latitude da posição. Por exemplo, a *distância do zênite* do equador celeste é o ângulo ao longo do meridiano entre o zênite e o equador celeste. Isto corresponde à latitude da posição. O ângulo da distância do zênite é complementar ao ângulo da *altitude*. A altitude do equador celeste é o ângulo feito entre o equador celeste e o horizonte medido ao longo do meridiano. O equador celeste corta os meridianos em ângulos retos.

## O Sistema de Coordenadas do Equador

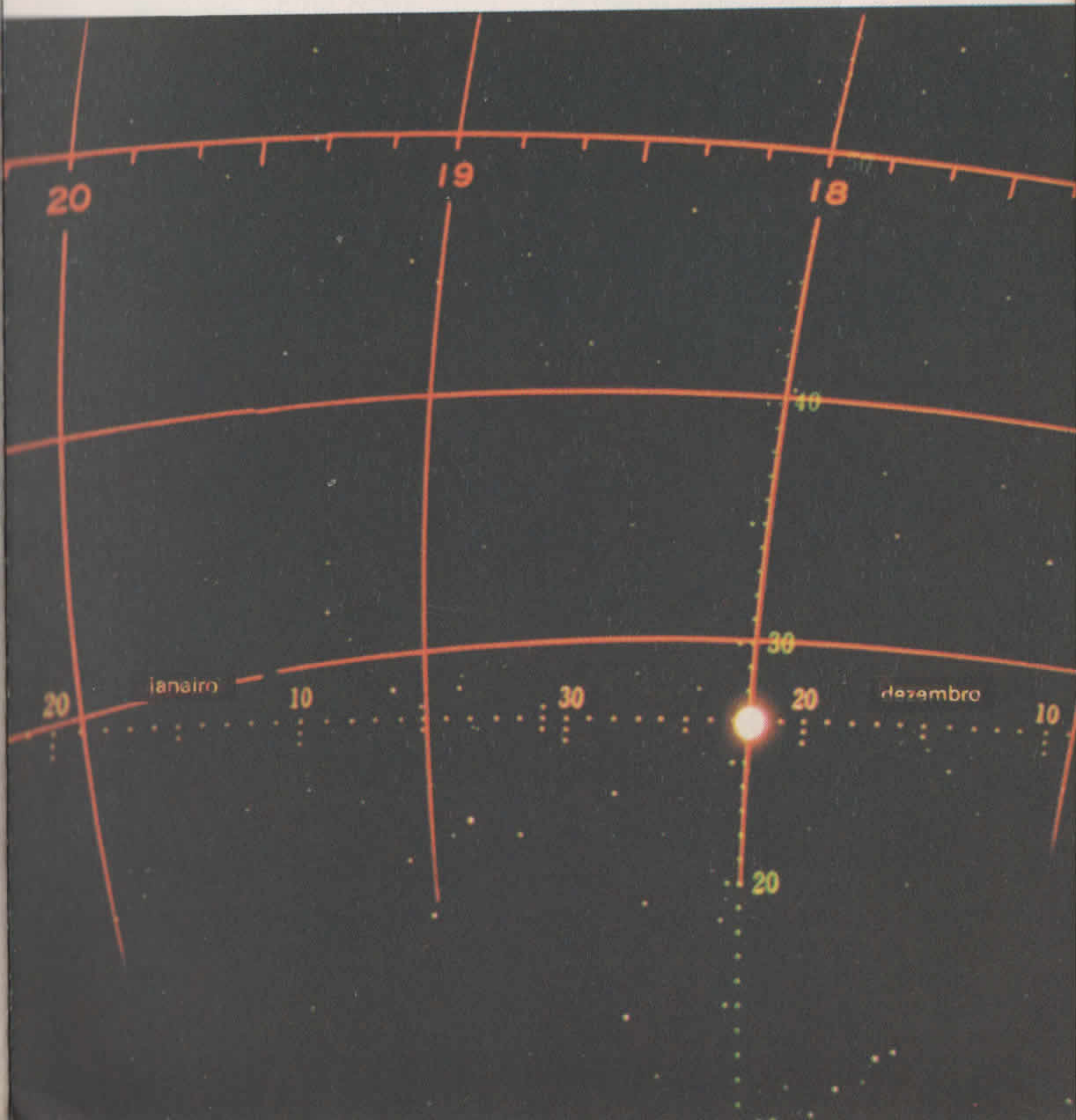
As coordenadas do horizonte medindo a altitude e o azimute das estrelas referem-se apenas a uma posição na Terra. Esta limitação pode ser superada pela criação de um sistema de coordenadas ligadas às estrelas e ao observador na Terra. No *sistema de coordenadas do equador*, o equador celeste é o círculo fundamental na esfera celeste entre os pólos celestes. Círculos de vinte e quatro horas cruzam o equador celeste em ângulos retos e convergem para os pólos celestes.

A região de Sagitário a 18 h de A.R. O Sol na eclíptica atinge o solstício em 21 de dezembro.



O equador celeste e os círculos horários estão fixos na esfera celeste. Com o girar da Terra, uma estrela num determinado círculo horário irá passar pelo meridiano uma vez por dia.

O ângulo norte ou sul do equador celeste é chamado de *declinação*. Uma estrela ao norte do equador terá declinação positiva (+), enquanto que outra ao sul do equador terá declinação negativa (-). A declinação de uma estrela é medida em graus de arco desde o equador celeste, ao longo do círculo horário, passando pela estrela. *Ascensão Reta* (A.R.) é a medida do tempo em horas, minutos e segundos, ao longo do equador celeste, em direção do leste. A origem ou ponto zero é o equinócio de março, onde a eclíptica e o equador celeste se cruzam. Em 20 ou 21 de março, quando o Sol atravessa o equador celeste, suas coordenadas são ascensão reta zero horas (A.R. = 0h, ); declinação zero graus (dec. =  $0^{\circ}$ ). No solstício de junho, a A.R. do sol = 6h e dec. =  $+23^{\circ},5$ ; no solstício de dezembro, A.R. = 18h, dec. =  $-23^{\circ},5$ . Por ora, as estrelas serão consideradas como se estivessem fixas na esfera celeste, com medidas permanentes de ascensão reta e declinação.





## A Ascensão Reta e a Declinação do Sol

Durante o ano, o Sol traça a eclíptica na esfera celeste. O eixo de rotação da Terra está inclinado cerca de  $23\frac{1}{2}^\circ$  em relação ao *eixo eclíptico*, que é perpendicular ao plano da órbita. Como resultado, a eclíptica e o equador celeste formam dois círculos cruzados na esfera celeste separados por um ângulo de  $23\frac{1}{2}^\circ$ . Os pontos de intersecção são os equinócios e os pontos de maior separação são os solstícios.

Quando a Terra gira, o Sol parece se mover em direção do leste ao longo da eclíptica. Com o Sol no equinócio de março, no equador celeste, sua ascensão reta (A.R.) será 0h e sua declinação ( $\delta$ )  $0^\circ$ . O Sol continua ao longo da eclíptica em direção do leste, aumentando sua ascensão reta e sua declinação positiva (+). Pelo solstício de junho, a A.R. do Sol será 6h e sua declinação  $+23\frac{1}{2}^\circ$ . O Sol irá cruzar o equador celeste novamente no equinócio de setembro. A A.R. é 12h e  $\delta = 0^\circ$ . No solstício de dezembro,  $23\frac{1}{2}^\circ$  ao sul do equador celeste, a A.R. do Sol é 18h e sua declinação negativa ou  $-23\frac{1}{2}^\circ$ .

Num ano, o Sol irá voltar para o equinócio de março com A.R. 0h e  $\delta = 0^\circ$ . A revolução da Terra faz o Sol cruzar todos os círculos horários, mudando sua ascensão reta nas 24 horas. A inclinação do eixo da Terra é responsável pela mudança na declinação do Sol entre + e  $-23\frac{1}{2}^\circ$ .



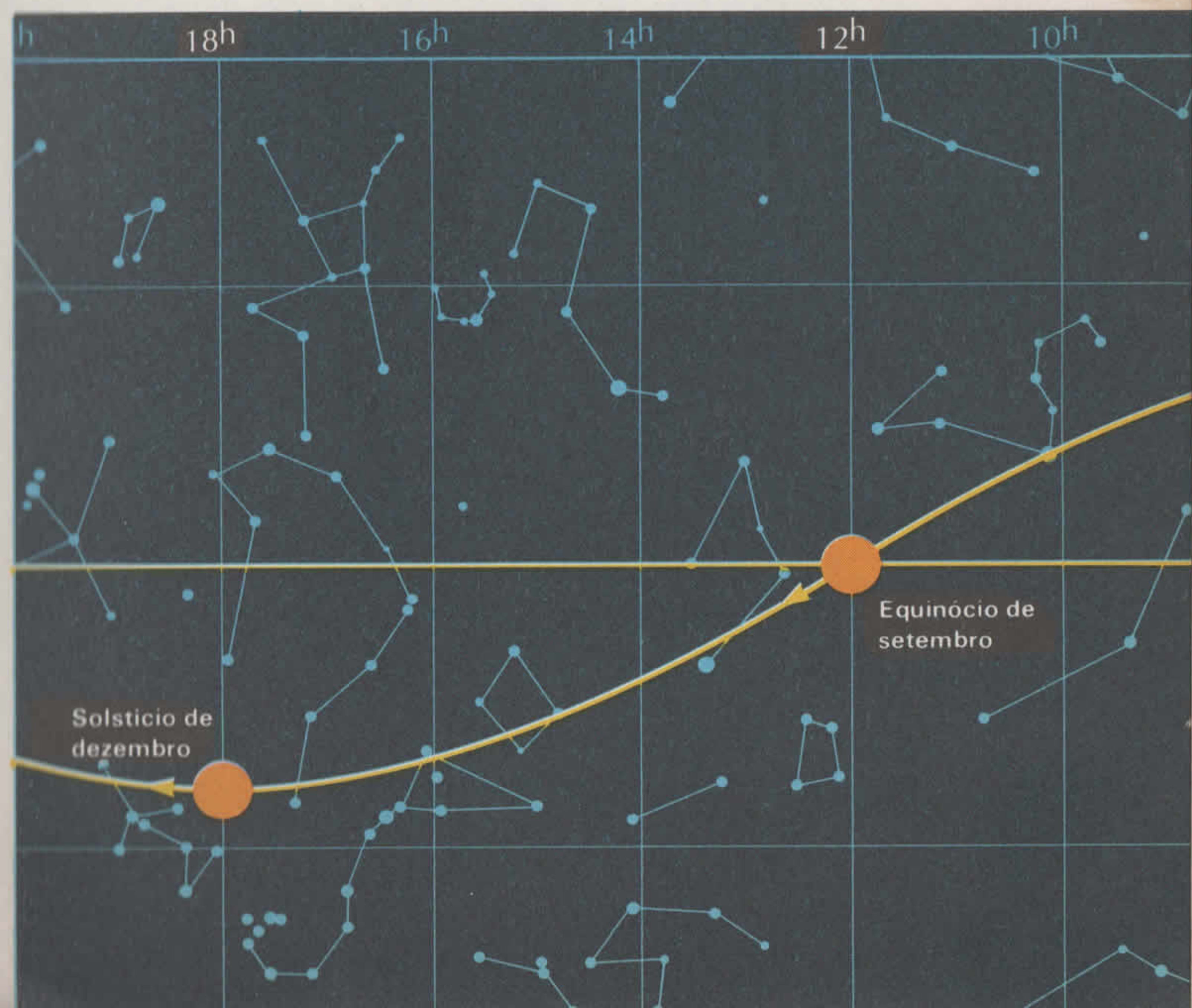


## Tempo Solar e Sideral

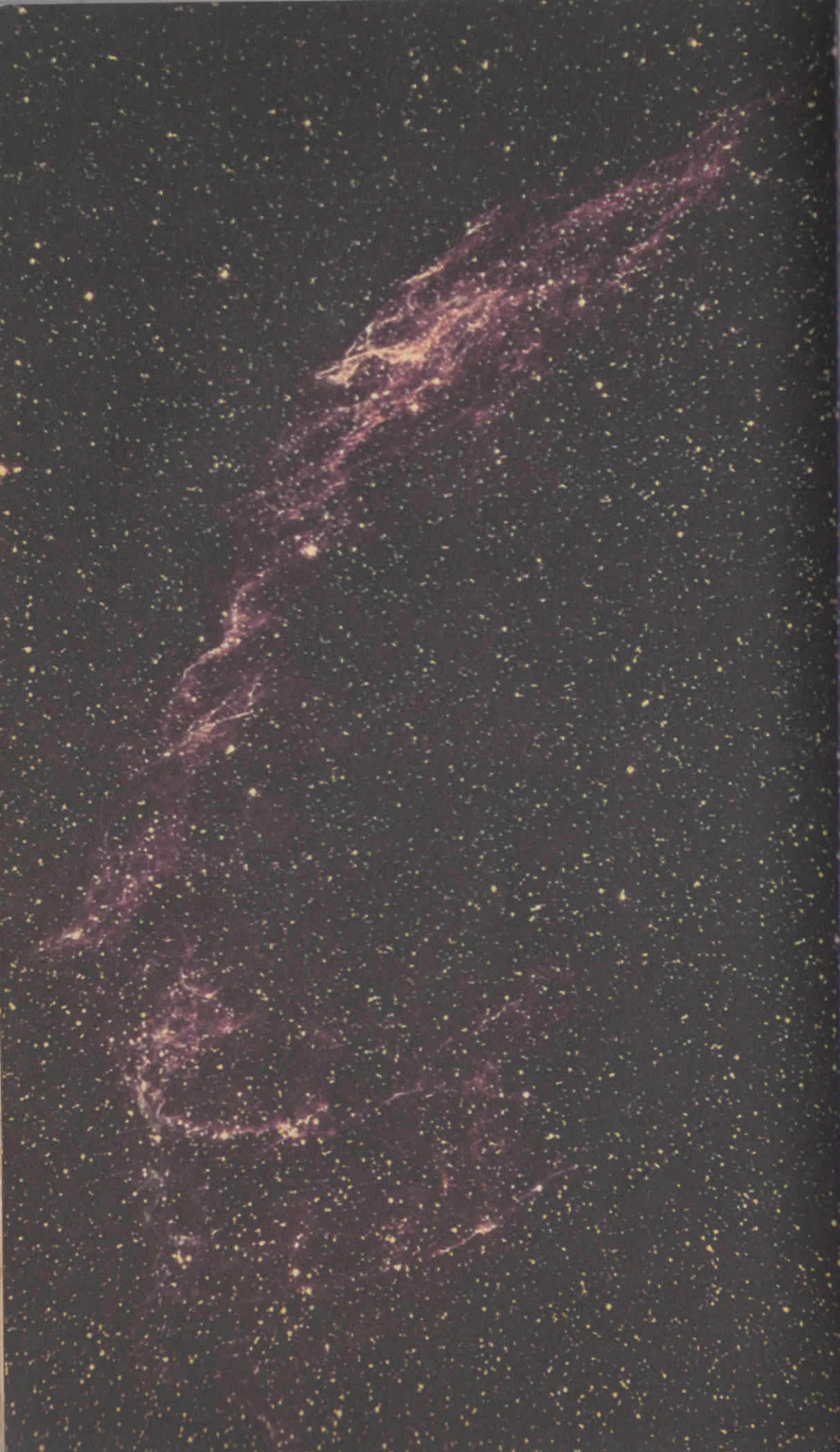
A rotação da Terra proporciona uma maneira de medir o tempo pelo Sol, como também pelas estrelas. O tempo tomado pelo Sol para fazer dois trânsitos meridianos consecutivos é chamado de *dia solar aparente*. O tempo exigido por uma estrela para fazer dois trânsitos meridianos consecutivos é um *dia sideral*. *Tempo solar* é marcado com o Sol. *Tempo sideral* é medido com as estrelas.

Embora esses dois métodos de medir o tempo sejam baseados na rotação da Terra, um dia solar e um dia sideral diferem em duração. A revolução faz o Sol aparecer cerca de um grau de arco mais para o leste cada dia. Assim, a Terra deve girar um grau de arco adicional ou quatro minutos de tempo para levar o Sol ao meridiano no dia seguinte. Um dia solar é quatro minutos mais longo do que o período rotacional da Terra.

Diversamente do Sol, as estrelas não se deslocam em ascensão reta e declinação pela revolução da Terra. O tempo sideral ou o tempo estelar é calculado pelo trânsito do equinócio de março em cada período rotacional. Como o Sol cruza o meridiano quatro minutos mais tarde cada dia, o dia solar e o dia sideral não são compatíveis. Em 20 ou 21 de março, o Sol e o equinócio transitam juntos. Em seis meses, o Sol no equinócio de setembro transita 12 horas depois do equinócio de março. Irá passar um ano antes que o Sol transite junto com o equinócio de março novamente.









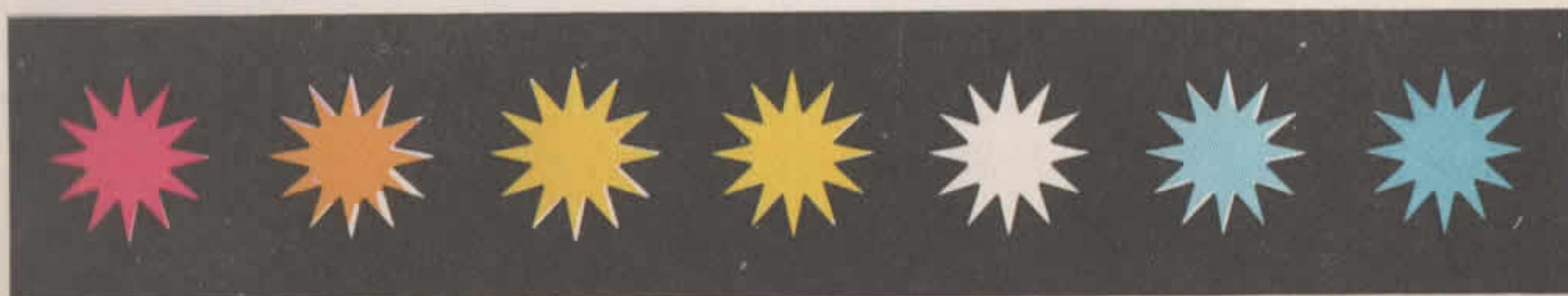
# AS ESTRELAS

Para se apreciar as estrelas, o firmamento deve ser examinado numa noite límpida, escura, sem qualquer iluminação artificial. Ao primeiro olhar, o céu é uma massa desordenada, engastada de brilhantes, mas uma investigação cuidadosa revela desenhos e agrupamentos chamados *asterismos*. Dependendo da latitude do observador, esses últimos podem incluir as *Plêiades*, a *Grande Caneca* ou o *Navio*, o *Cruzeiro do Sul*, o *Grande Quadrado*. Num mapa estelar, os asterismos e as estrelas mais próximas são relacionados de maneira a formar figuras imaginárias chamadas *constelações*. A *Via-láctea* aparece como uma faixa indistinta de luz com milhões de estrelas. Descobriu-se que a fenda escura na Via-láctea era formada de extensas nuvens de poeira e de gás. Aglomerados de estrelas ou mesmo sistemas estelares distantes dão a impressão de manchas de luz pálidas entre as constelações. No hemisfério sul, as *Nuvens de Magalhães* parecem ser pedaços destacados da Via-láctea, mas são galáxias, os sistemas de estrelas mais próximos além da Via-láctea. No hemisfério norte, uma espiral enorme de milhões de estrelas chamada de *Galáxia de Andrômeda* aparece no limiar da visão da constelação de Andrômeda, entre Peixes e Cassiopéia.

As estrelas não são todas semelhantes. Mesmo um olhar casual revelará diferenças na cor e no brilho, sendo que este constitui a distinção mais óbvia. As estrelas mais brilhantes são as de primeira magnitude. Um observador com uma vista perfeita, olhando o céu numa noite escura, será capaz de ver estrelas de sexta magnitude — 100 vezes mais fracas.

As diferenças de cor são mais difíceis de se distinguir do que as de brilho. No início, todas as estrelas parecem brancas. Então, quando elas *cintilam* ou faíscam na atmosfera, todas as cores do arco-íris parecem irradiar de uma única estrela. Como a luz do Sol, a luz das estrelas é uma mistura de todas as cores do espectro. Cada estrela tem uma cor distinta determinada por sua temperatura. O Sol, como muitas estrelas, é amarelo; mas há estrelas vermelhas, alaranjadas, brancas, verdes e azuis. Uma estrela mais fria parece vermelha enquanto que uma estrela quente será de cor azul. O Sol é uma estrela média entre esses extremos.

As estrelas na direção da eclíptica (o grande círculo formado pelo plano da órbita da Terra com a esfera celeste) são as constelações do zodíaco. É importante a familiaridade com essa região, pois nela se encontram os planetas, que podem ser confundidos com grandes estrelas. Durante o mês, a Lua passa pelo zodíaco em suas fases em redor da Terra.



A Via-láctea na direção das estrelas de Cisne. A Nebulosa Velada é o remanescente de uma explosão estelar.



## Uma Visão do Mundo

Imaginem o céu do observador no espaço. Sem horizonte, as estrelas apareceriam em todas as direções. Toda a esfera celeste pode ser vista de uma só vez. Sem atmosfera, as estrelas seriam espetaculares — mais belas do que na Terra, sob as melhores condições. Com certeza, as estrelas pareceriam se mover, mas o observador perceberia que este é um movimento *aparente*, provocado por sua própria rotação, assim como a rotação da Terra que produz o dia e a noite.

Se ele estiver no sistema solar, também verá o Sol vagando. O astronauta girará numa órbita em redor do Sol num período de tempo determinado por sua distância do Sol. Se estiver na distância da Terra, levará um ano. Enquanto viaja em sua órbita, o Sol irá mudar de lugar entre as estrelas. Para um observador na Terra, o Sol parece mover para o leste enquanto o planeta gira em sua órbita e novas estrelas aparecem no céu noturno com a mudança das estações. Um astronauta no espaço leva uma vantagem sobre o observador na Terra, porque não há horizonte. A própria Terra cria o horizonte cortando a visão que o observador tem da esfera celeste pela metade e a rotação da Terra cria a ilusão de um céu girando em torno dos dois pólos celestes. Todas as estrelas parecem se mover em círculos concêntricos em redor dos pólos celestes. Um observador no pólo norte ou sul geográfico irá encontrar o centro de rotação da esfera celeste diretamente acima dele, no zênite, com todas as estrelas girando paralelamente ao horizonte.

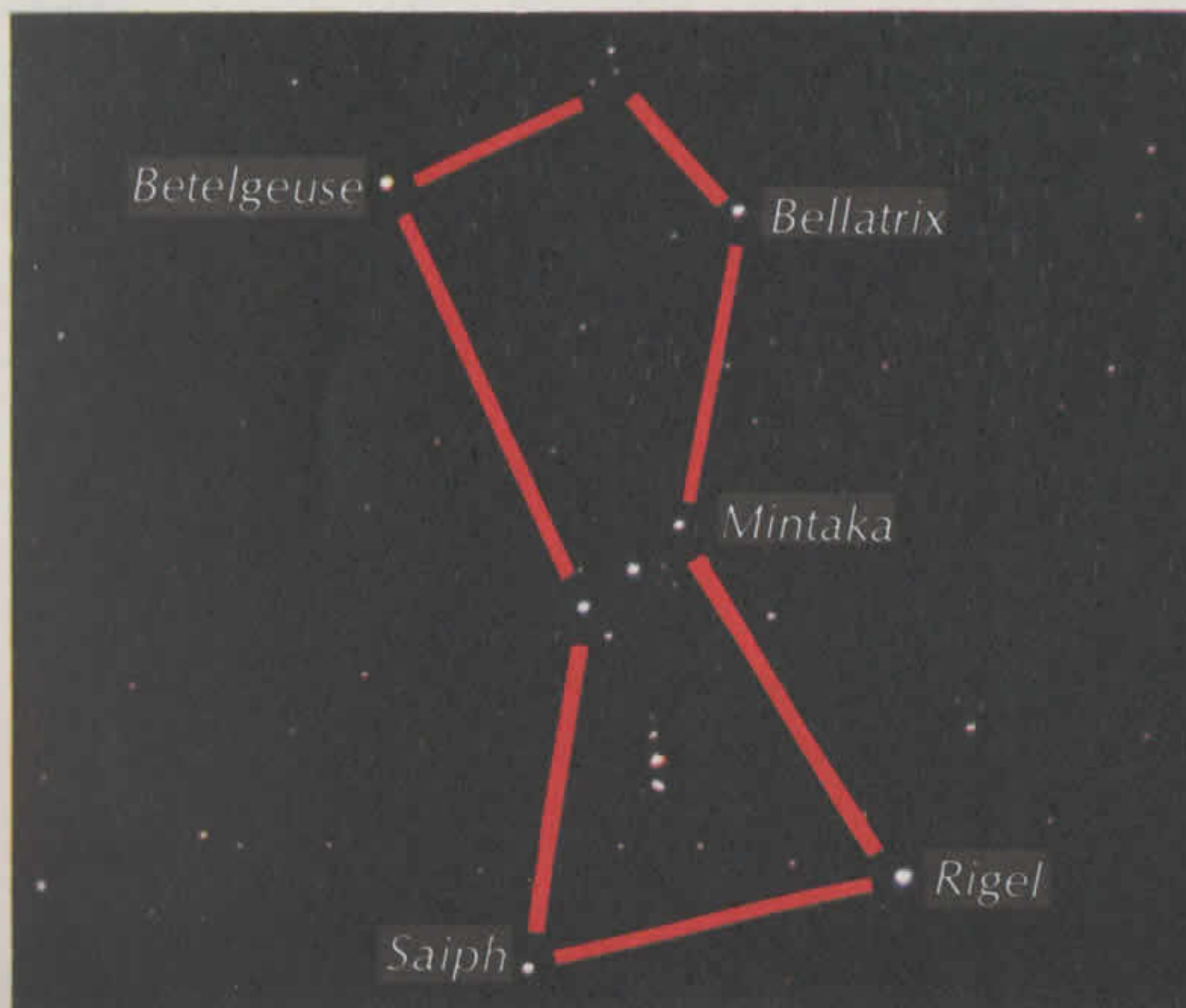
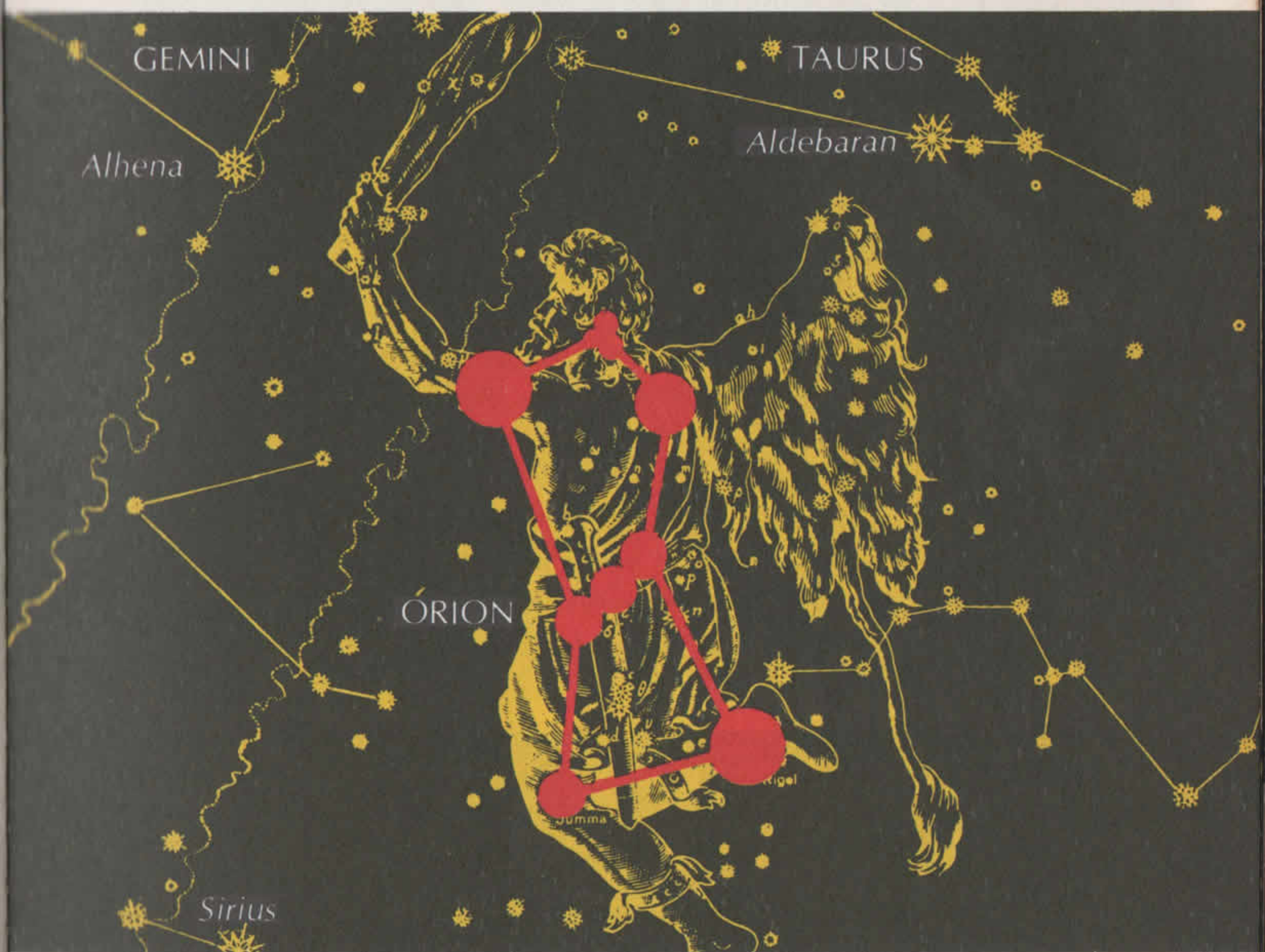
No equador da Terra, todas as estrelas nascem e se põem. Os pólos celestes estão nos pontos norte e sul do horizonte. Todas as estrelas de pólo a pólo são visíveis em alguma época durante o ano. Nas latitudes médias dos hemisférios norte e sul algumas estrelas são *circumpolares* ou sempre acima do horizonte, enquanto que outras irão nascer e se pôr. Se o observador viaja para o norte ou para o sul do equador (latitude  $0^\circ$ ) acompanhando um meridiano, estrelas ficarão escondidas pelo horizonte equatorial enquanto que outras aparecerão acima do horizonte polar.

## As Estrelas de Órion

Órion consiste em sete estrelas brilhantes que delineiam a figura do Poderoso Caçador da mitologia. Três estrelas enfileiradas representam seu cinturão. A estrela mais ao norte no cinturão, *Mintaka*, fica muito perto do equador celeste. Com o girar da Terra, esta estrela acompanha o equador celeste pelo céu. A latitude do observador irá determinar como Órion vai aparecer. No equador, Mintaka levanta-se no ponto leste perpendicular ao horizonte. Depois, com o girar da Terra, a estrela atinge o zênite. Se Mintaka se levantar no crepúsculo, estará no zênite por volta de meia-noite, pondo-se no oeste quando o Sol nascer no leste. Nas latitudes médias do hemisfério norte, todas as



estrelas de Órion são visíveis no leste pouco depois do nascer da constelação. Mintaka deverá estar no leste. Enquanto a Terra gira em seu eixo, Órion percorre um círculo oblíquo em cima do horizonte sul, pondo-se no oeste. As estrelas *Betelgeuse* e *Bellatrix* aparecem mais acima do horizonte sul do que Mintaka. Nas latitudes médias do hemisfério sul, Mintaka nasce no leste, cruza o céu em direção do norte, acompanhando o equador celeste. Agora as estrelas *Rigel* e *Saiph* estão mais acima do horizonte norte do que Mintaka.



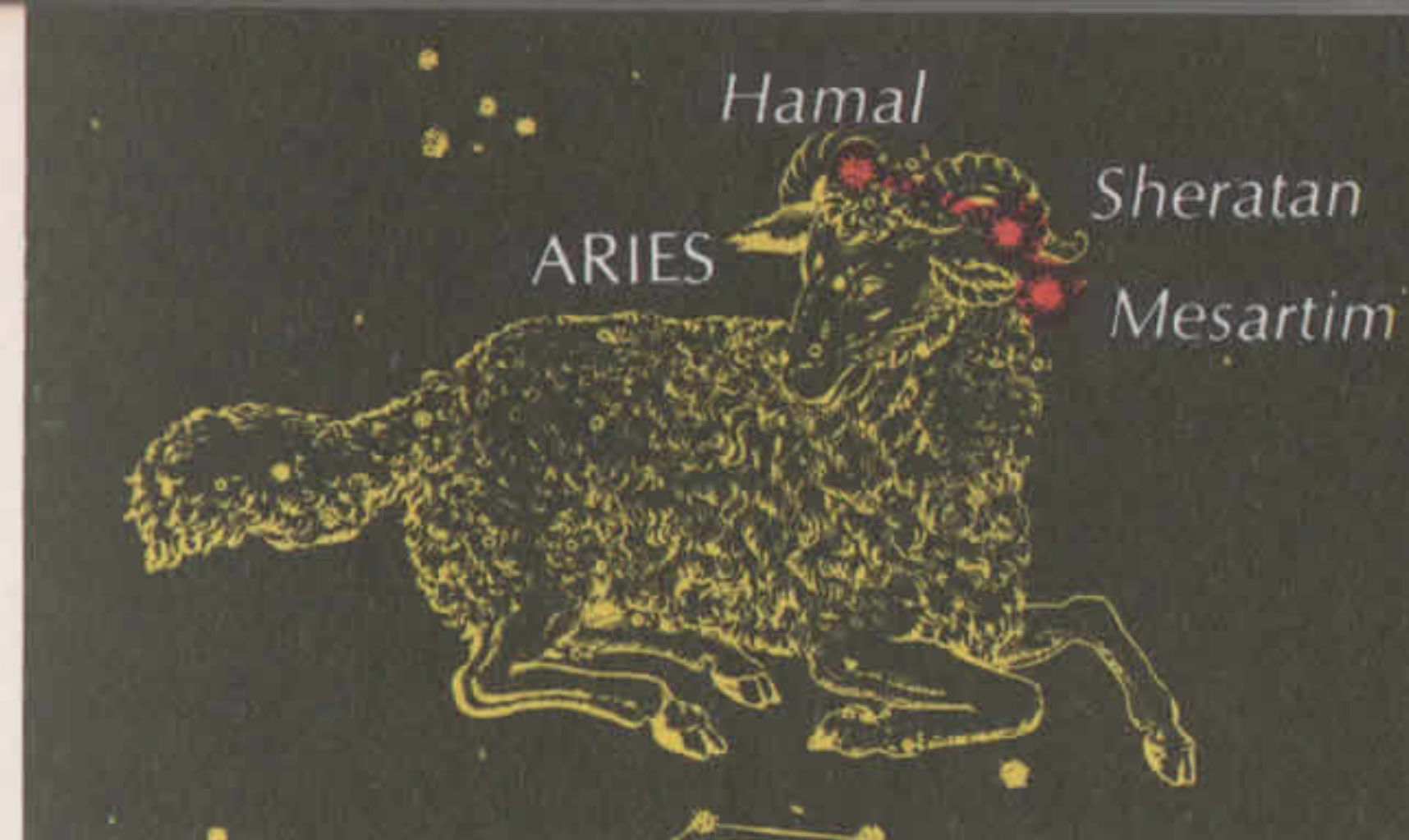


## Pisces — Aries

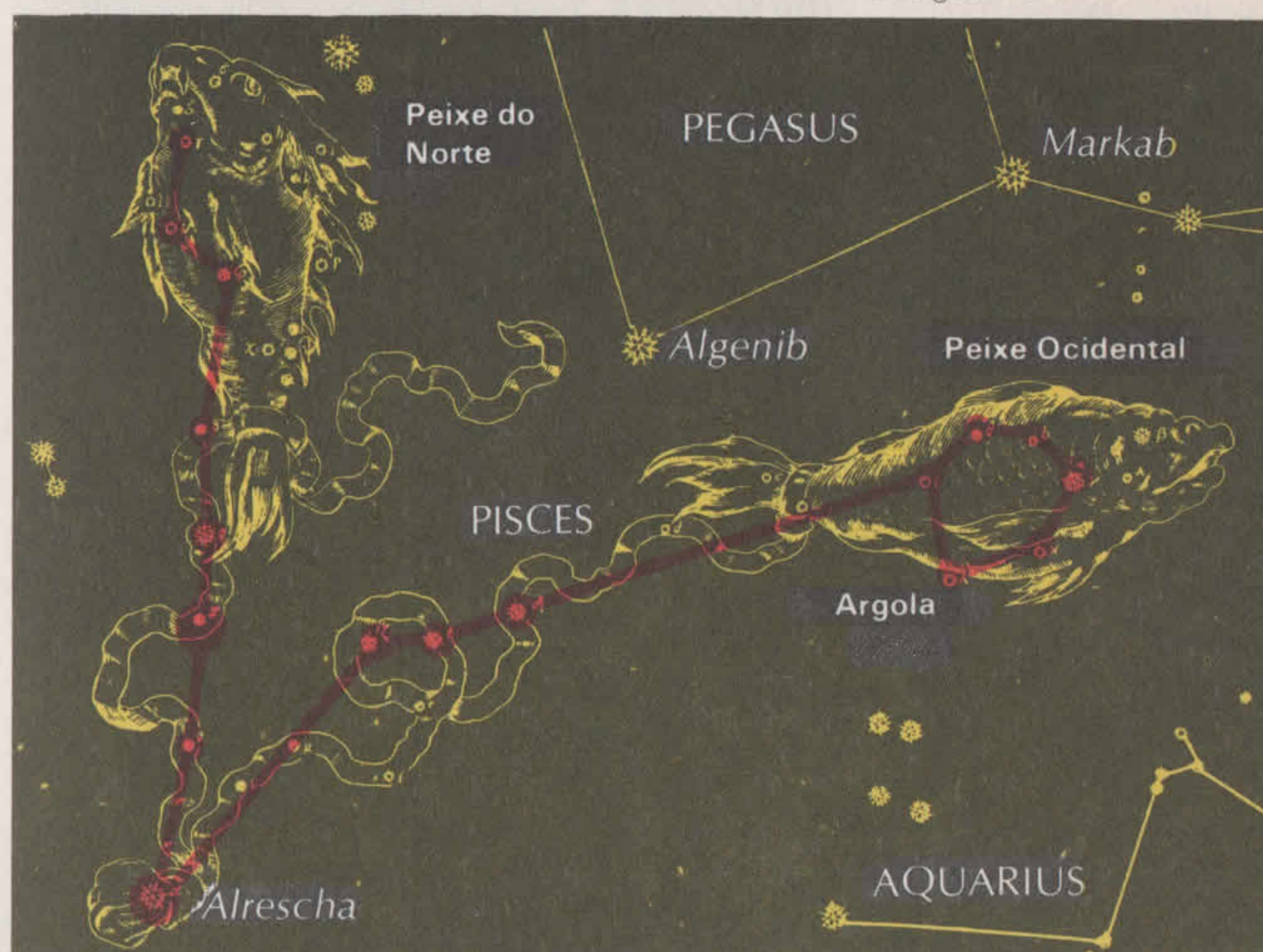
As constelações do zodíaco estão na direção da eclíptica, a trajetória aparente do Sol. Quando a Terra gira em sua órbita, o Sol parece se mover para o leste cerca de um grau por dia. Durante o decorrer do ano, o Sol irá passar por essas 12 constelações. Além do Sol, a Lua e os planetas estão dentro dos limites do zodíaco. Assim, as estrelas do zodíaco foram especialmente identificadas pelos astrólogos. O equinócio de março é o ponto em *Pisces*, os *Peixes*, onde a eclíptica e o equador celeste se cruzam. Nesse ponto, em 20 ou 21 de março, o Sol fica no zênite, no equador geográfico, a caminho do norte, para o Trópico de Câncer.

Peixes é uma constelação extensa representando dois peixes ligados por cordas amarradas nas caudas. As cordas são unidas por uma estrela de quarta magnitude, *Alrescha*. O *Peixe Ocidental* é formado por um asterismo chamado a *Argola*. O *Peixe do Norte* é representado por quatro estrelas fracas.

O equinócio de março é também chamado de *Primeiro Ponto em Aries*, lembrando a época em que a intersecção da eclíptica e do equador celeste localizava-se na constelação de *Aries*, o *Carneiro*. *Hamal*, *Sheratan* e *Mesartim*, as três estrelas mais brilhantes da constelação, formam um triângulo obtuso representando a cabeça do carneiro, com o resto do animal delineado por algumas estrelas fracas. É preciso muita imaginação para se visualizar o Carneiro.



À esquerda:  
Áries, o carneiro,  
com o Velocino de  
Ouro. Embaixo:  
os Peixes, que foram  
astrologicamente  
associados com os  
antigos hebreus.





## Taurus

*Taurus*, o *Touro*, contém algumas das estrelas mais interessantes observadas durante o ano inteiro. Cerca de 4.000 anos atrás, o equinócio de março estava localizado entre os chifres, ao norte do V que marca o focinho do Touro. Os antigos acreditavam que a conjunção do Sol e do Touro sagrado era responsável pela fertilidade da Terra durante a primavera no hemisfério norte e essa crença astrológica identificava-se com o culto do bezerro de ouro.

A estrela mais brilhante da constelação é *Aldebaran*, uma estrela alaranjada representando o olho do Touro. Esta estrela encontra-se no asterismo em forma de V chamado as *Híades*.

As estrelas mais familiares de Touro são as *Plêiades*, chamadas popularmente de as *Sete Irmãs*. Outro aglomerado, as Plêiades eram as filhas mitológicas de Atlas e meia-irmãs das Híades. Seis estrelas são vistas com facilidade; a sétima é um teste de boa visão. (Para os astrônomos, "boa visão" é uma medida relativa da transparência da atmosfera e não uma apreciação sobre a acuidade visual do observador.) A segunda estrela mais brilhante chama-se *Elnath* e representa a extremidade do chifre, ao norte da eclíptica. No mapa estelar, Elnath está junto da constelação de Auriga, o Cocheiro.

## Gemini

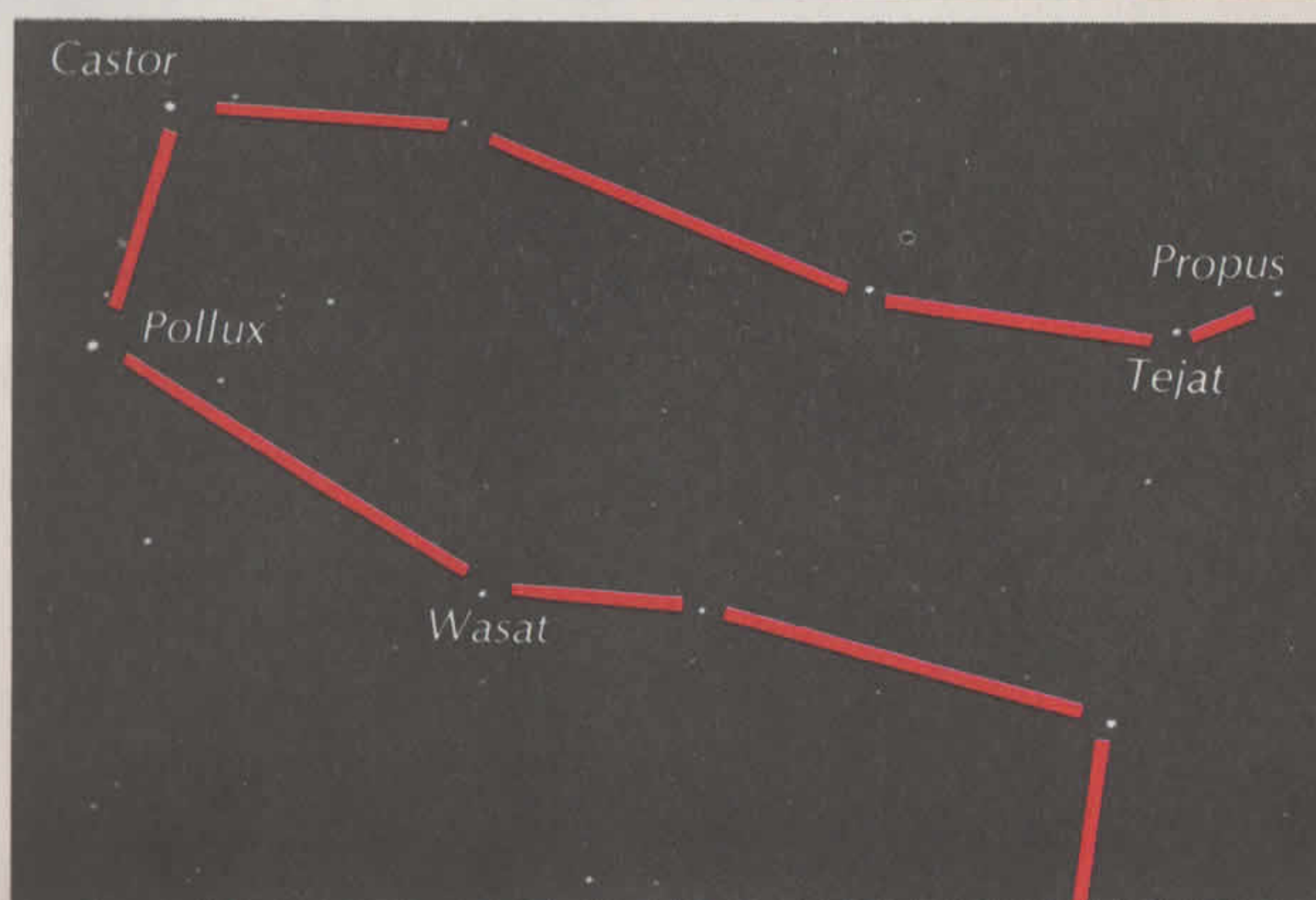
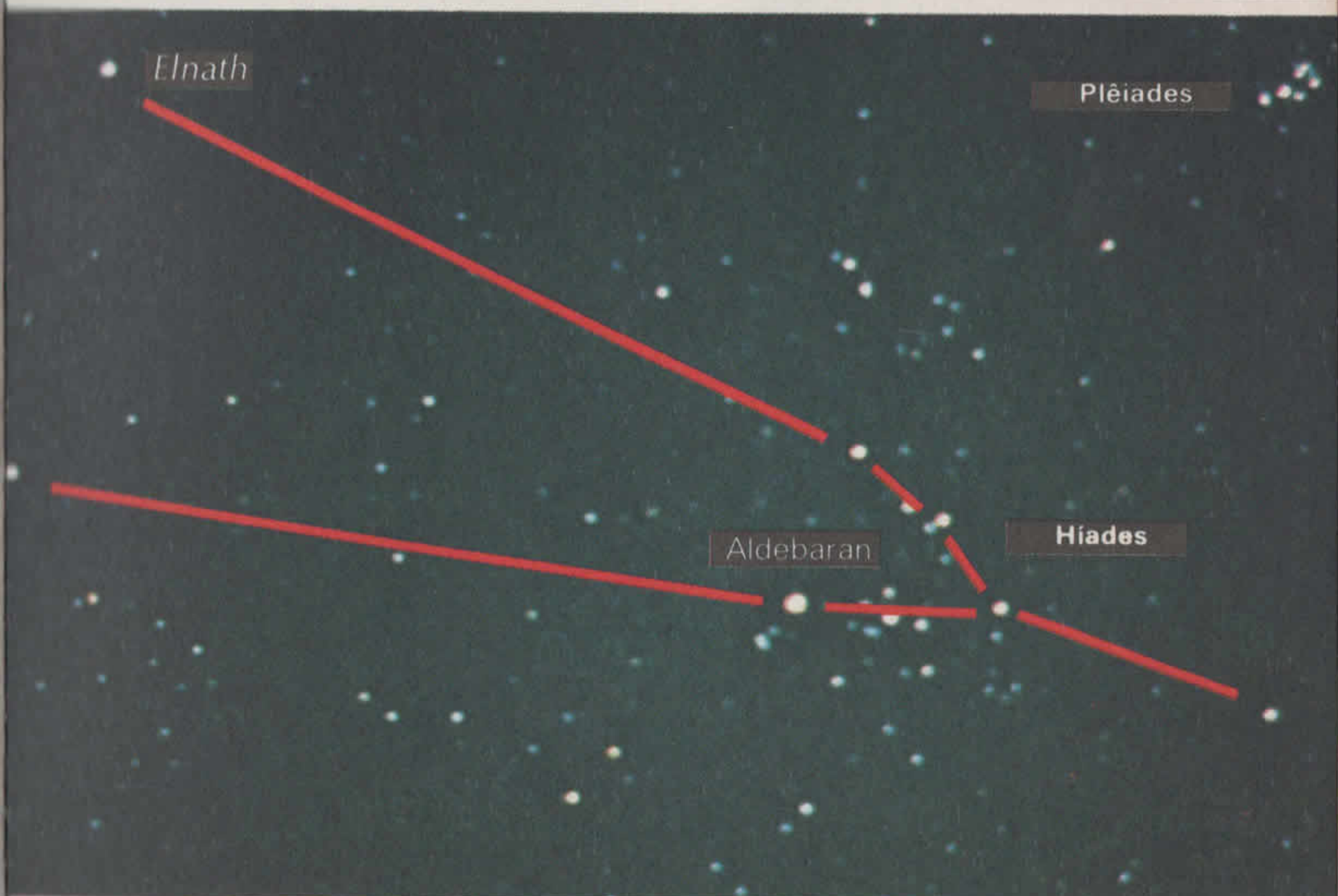
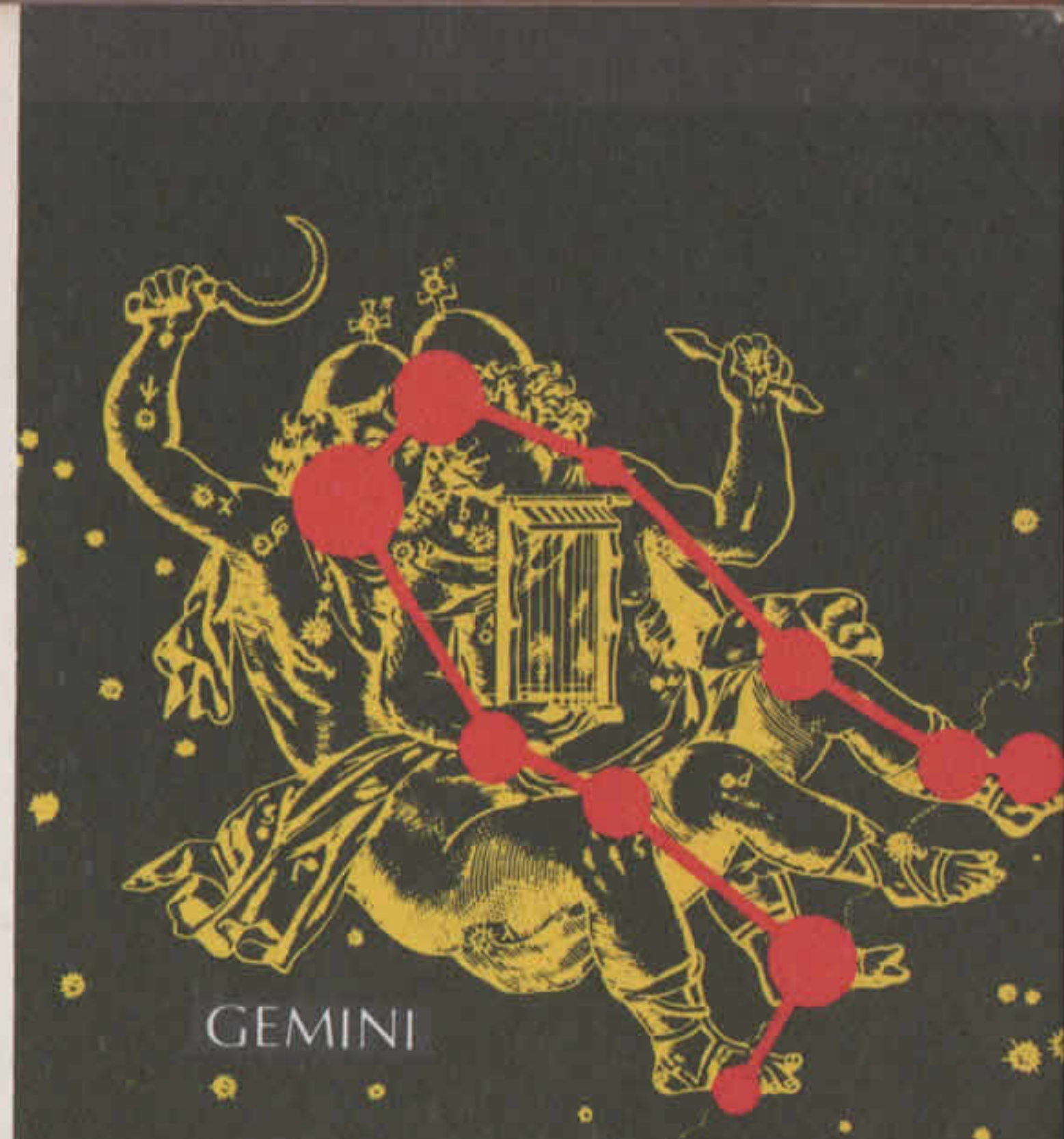
As estrelas de *Gemini* delineiam as figuras de *Castor* e *Pollux*, os *Gêmeos Celestes*. Como é a constelação mais ao norte da eclíptica, Gêmeos marca a localização do solstício de junho, a posição do Sol no primeiro dia do verão no hemisfério norte e do inverno no sul. *Castor* e *Pollux*, as duas estrelas mais brilhantes, foram consideradas gêmeas desde os tempos antigos; apesar disto, as estrelas não são idênticas: *Castor* é branca, enquanto que *Pollux* parece amarelo-palha, e a diferença é bastante pronunciada. As duas estrelas são as cabeças dos Gêmeos, com as estrelas remanescentes agrupadas em duas fileiras em direção de Touro. A constelação termina com quatro estrelas representando os pés.

Gêmeos é outra constelação importante no folclore dos povos mediterrâneos. De acordo com os gregos, *Castor* e *Pollux* acompanharam os Argonautas na busca do Velocino de Ouro, representado por *Aries*, o Carneiro. Gêmeos tornou-se a constelação protetora dos marinheiros, que confiavam nessas estrelas para protegê-los das tempestades no mar.

As estrelas de Gêmeos estão colocadas de maneira a ajudar a encontrar a eclíptica e o solstício de junho. Uma linha imaginária da estrela *Wasat* até *Tejat* e *Propus* acompanha a eclíptica. Partindo de *Propus*, um espaço para o oeste igual à separação entre *Tejat* e *Propus* marca a declinação máxima ao norte atingida pelo Sol em 21 de junho, a prumo quando observado do Trópico de Câncer.

Em cima, à esquerda: *Taurus*, o Touro; estrelas em aglomerados, como as Plêiades e as Híades, têm uma origem comum. Em cima, à direita: *Gemini*, os Gêmeos; aqui, em 1781, Herschel descobriu o planeta Urano.



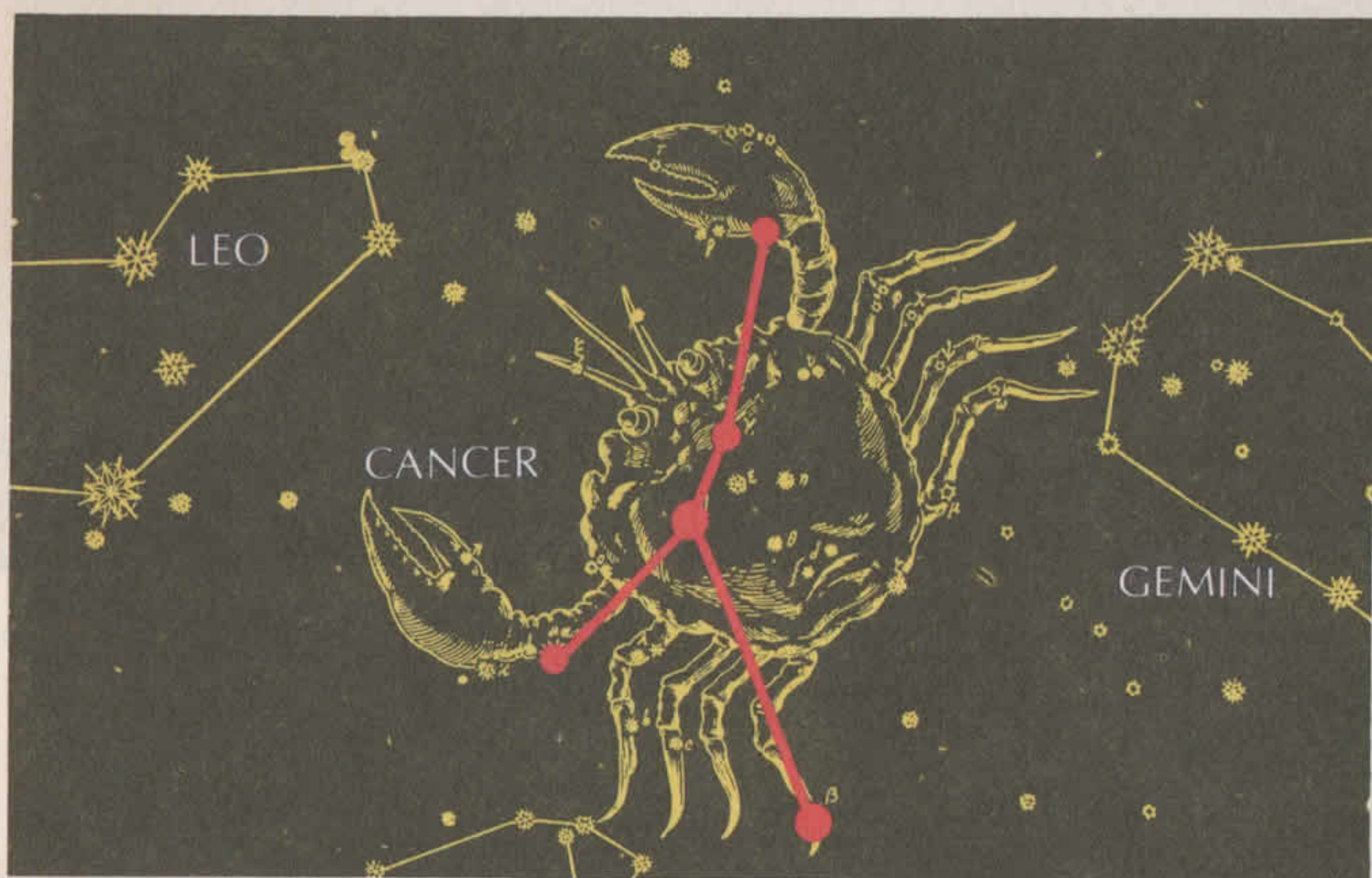




## Cancer — Leo

*Cancer*, o *Caranguejo*, está a leste de Gêmeos e é a constelação seguinte do zodíaco. Câncer é formado por três estrelas delineando o corpo de um Caranguejo e mais duas estrelas representando as garras. Como as estrelas são fracas e difíceis de se encontrar, é mais fácil localizar primeiro a constelação seguinte a leste, *Leo*, o *Leão*. Câncer está entre as estrelas brilhantes *Castor* e *Pollux*, em Gêmeos, e *Regulus*, em Leão. Uma das estrelas de Câncer, *Asellus Australis*, marca a eclíptica e pode ser usada para se traçar uma linha imaginária de Gêmeos a Leão. As estrelas *Asellus Borealis* e *Asellus Australis* referem-se aos jumentos presentes no nascimento de Jesus. O aglomerado de estrelas *Praesepe* (Presépio) representa a manjedoura como também a colméia. É preciso um binóculo para se examinarem essas estrelas. O Trópico de Câncer recebeu seu nome há 2.000 anos, quando o solstício de junho se situava em Câncer: ele localiza a latitude do Sol a prumo,  $23\frac{1}{2}$  ao norte do equador geográfico.

*Leo* é um grupo muito mais interessante para se observar. A cabeça do Leão é formada por um asterismo muito distinto chamado a *Foice de Leão*. A anca é em forma de um triângulo retângulo. *Regulus*, identificada por sua cor azul como uma estrela muito quente, é o coração do Leão e é importante como estrela de navegação, estando perto da eclíptica. *Denebola* é a estrela brilhante na ponta da cauda do Leão.





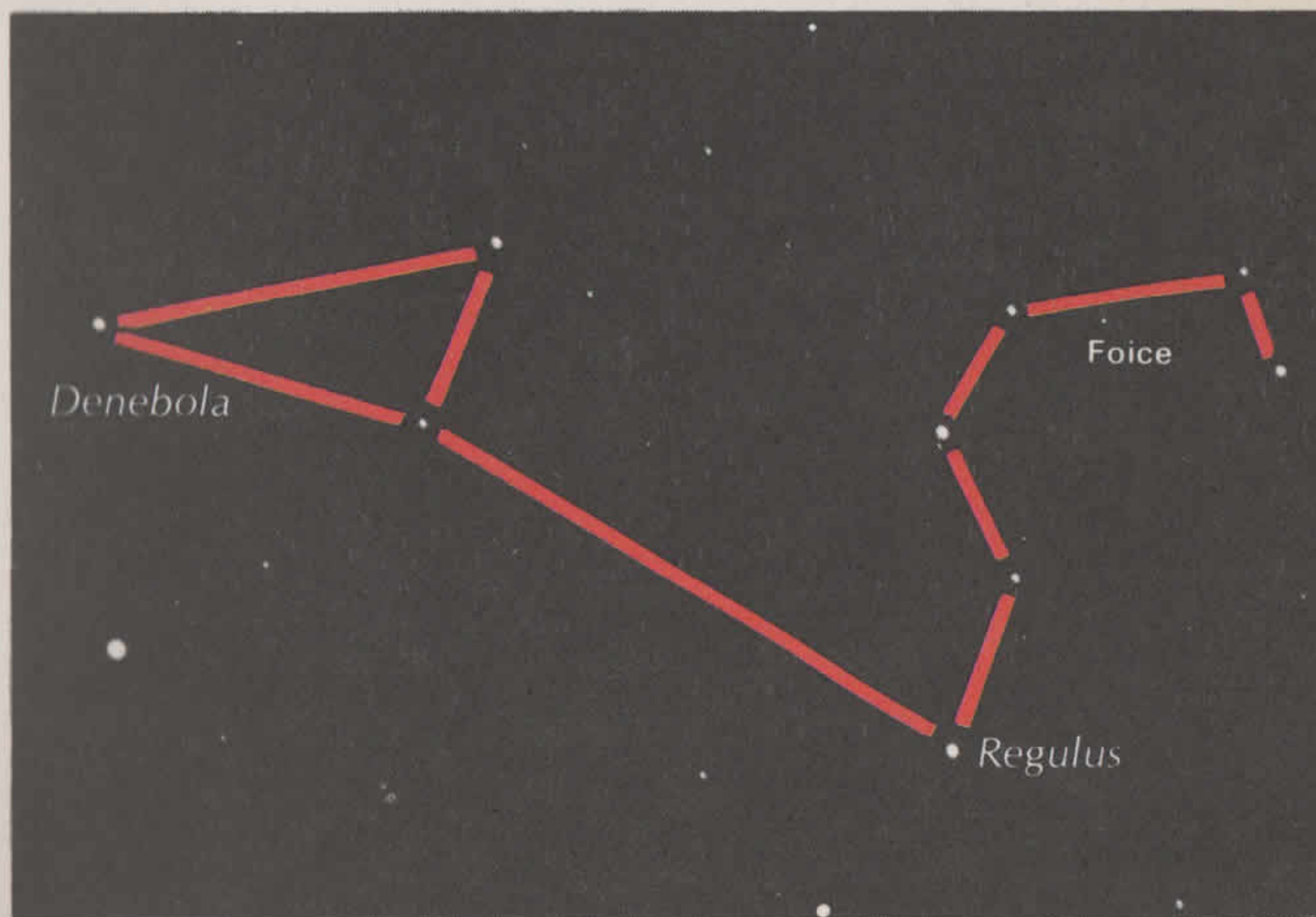
Castor

Pollux

*Asellus Borealis*

Presépio

*Asellus Australis*



Em cima: Câncer, a constelação mais fraca do zodíaco.

Embaixo: Leo, *Regulus*, era uma das quatro estrelas "reais" da Antiguidade.

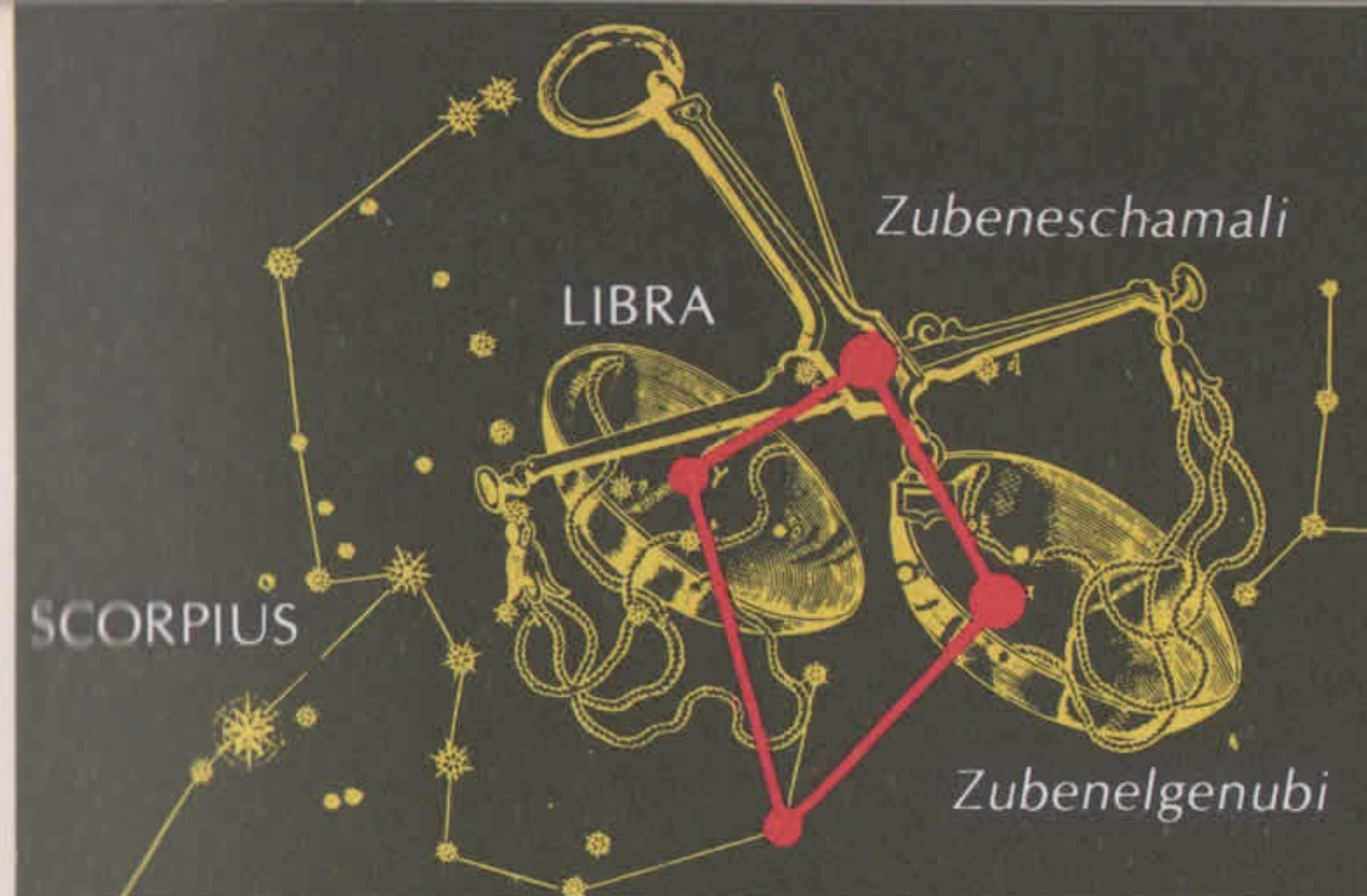


## Virgo — Libra

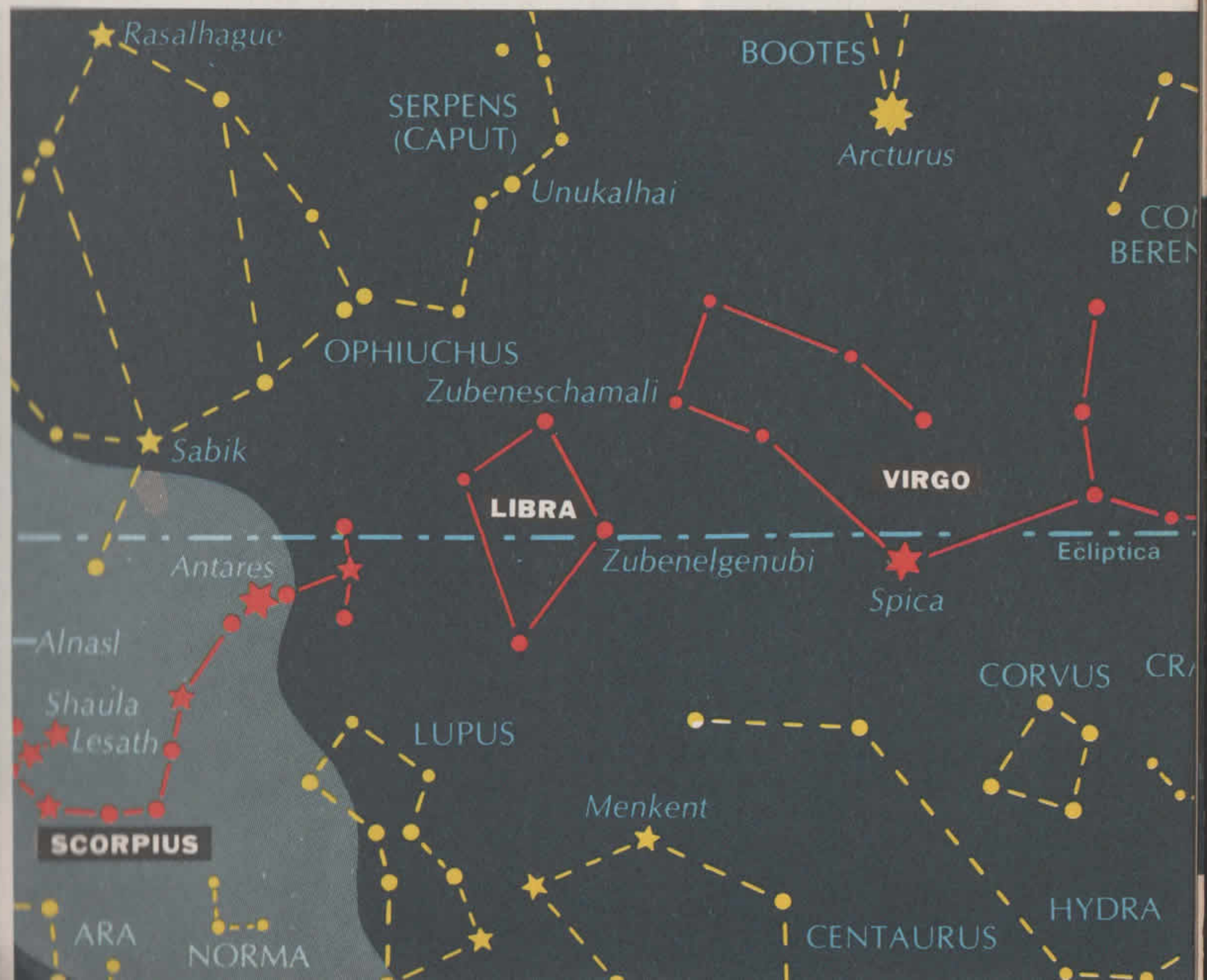
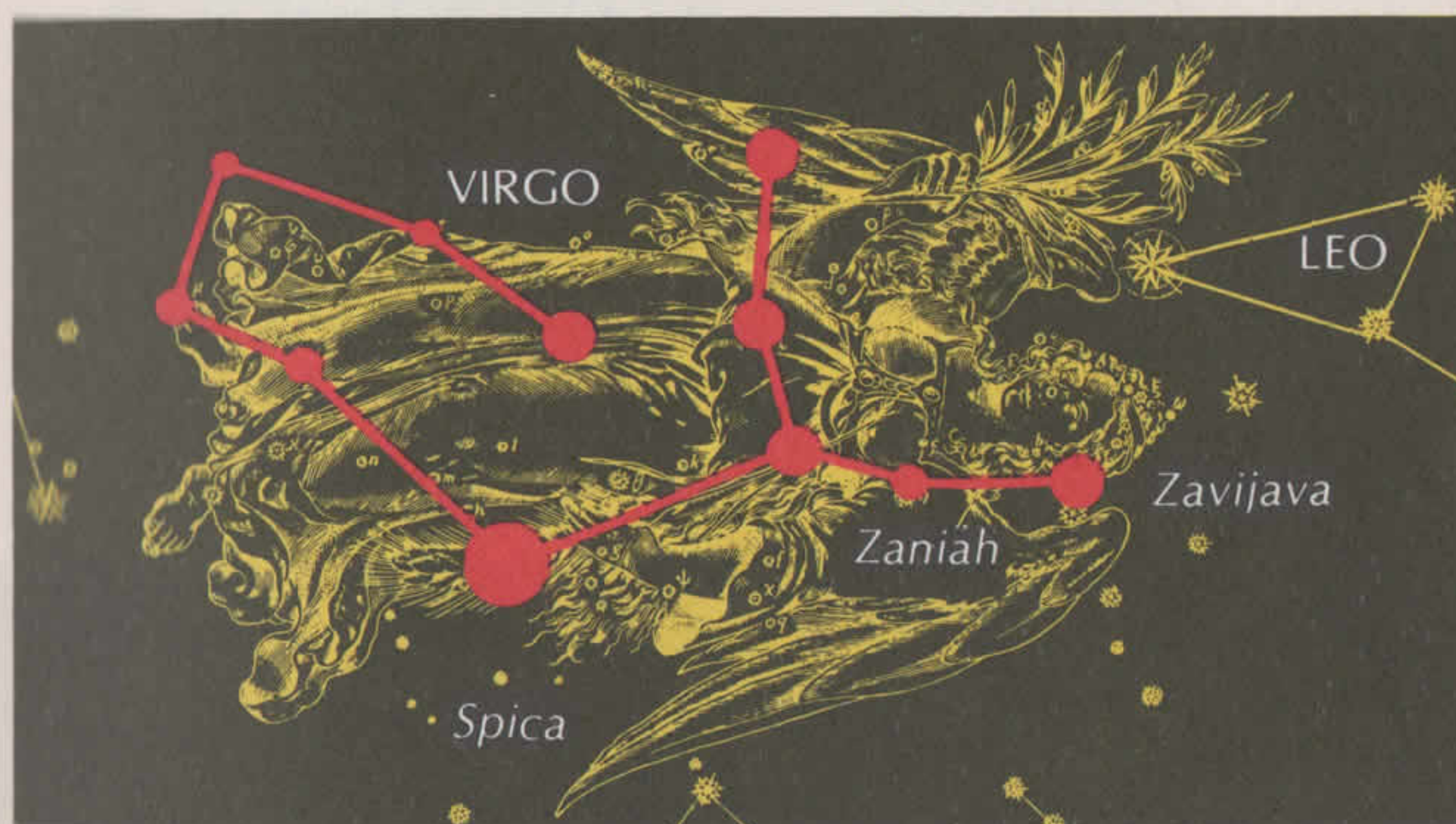
O Sol atinge o equinócio de setembro em Virgem, entre as estrelas *Zaniah* e *Zavijava*, de quarta magnitude. A constelação inteira é fraca porque Virgem está localizada longe dos campos ricos em estrelas da Via-láctea. A estrela *Spica*, azul-brilhante e de primeira magnitude, é a exceção e, por isso, fácil de ser encontrada entre suas pálidas companheiras. Como *Regulus*, *Spica* está perto da eclíptica e ajuda a localizar essa linha imaginária. O equinócio de setembro fica quase no meio, entre *Regulus* e *Spica*, localizando a posição do Sol quando este cruza o equador em direção do sul.

Embora suas estrelas sejam fracas, *Virgem* foi importante na mitologia. Como deusa da fertilidade, Virgem estava no leste ao amanhecer durante o tempo das colheitas. *Spica* representava uma "espiga de trigo". Virgem também retrata a Justiça segurando *Libra*, a *Balança*. De acordo com a lenda, Virgem foi a última das divindades a deixar a Terra ao ir para o céu, segurando a balança para julgar a humanidade.

Libra é outra constelação pouco visível que é importante apenas porque está na trajetória do Sol. Só são interessantes as estrelas de terceira magnitude chamadas *Zubenelgenubi* e *Zubeneschamali*. Em árabe, esses nomes significam "as garras do sul e do norte", aludindo à constelação seguinte, *Scorpius*, o Escorpião. *Zubenelgenubi* está perto da eclíptica; *Zubeneschamali* é a única estrela verde suficientemente brilhante para ser vista sem auxílio óptico.



À esquerda: Libra, a Balança; a única constelação inanimada do zodíaco. Embaixo: *Virgo*, a Virgem; a cabeça da Virgem e o corpo de Leão formam a esfinge egípcia



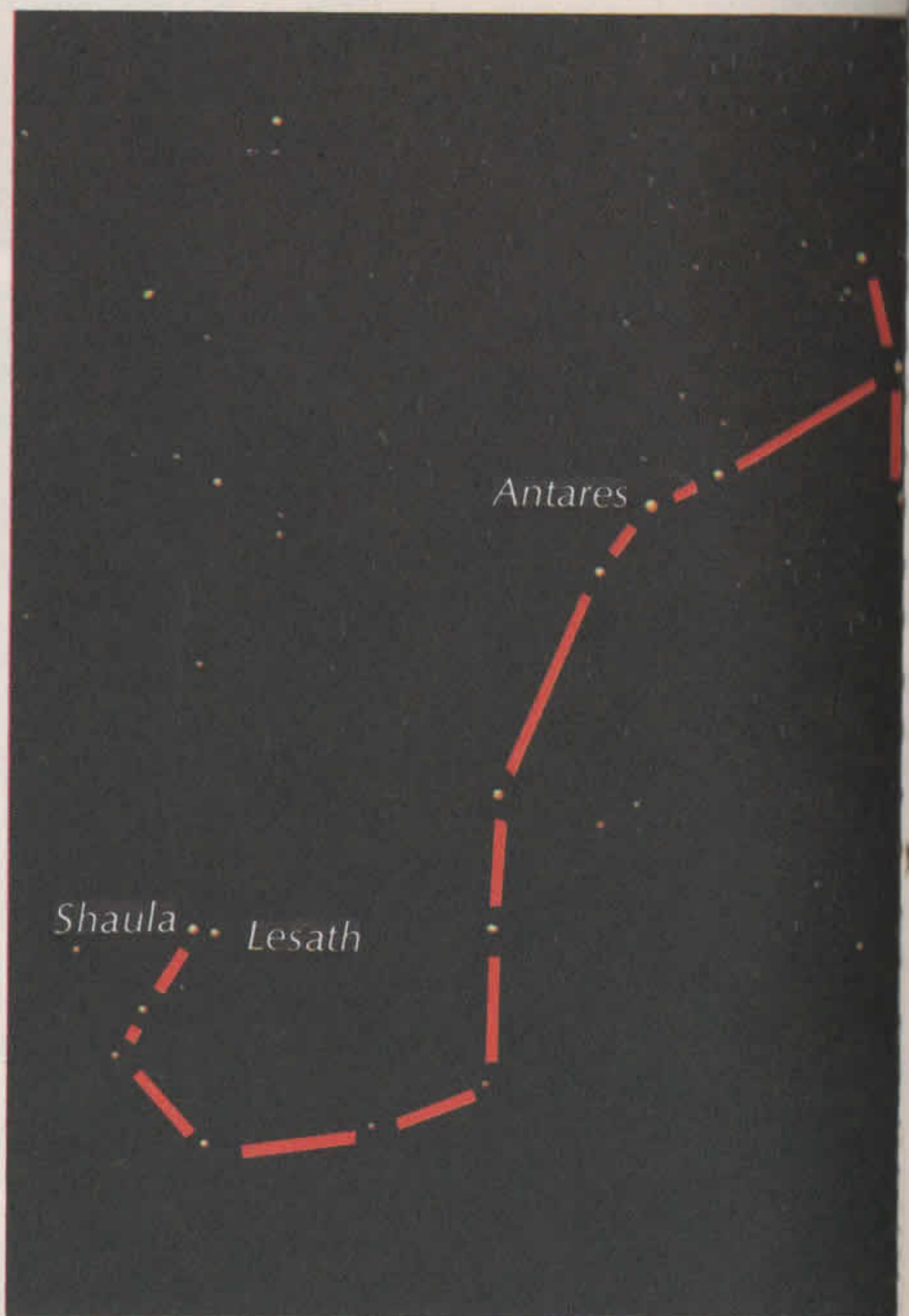


## Scorpius

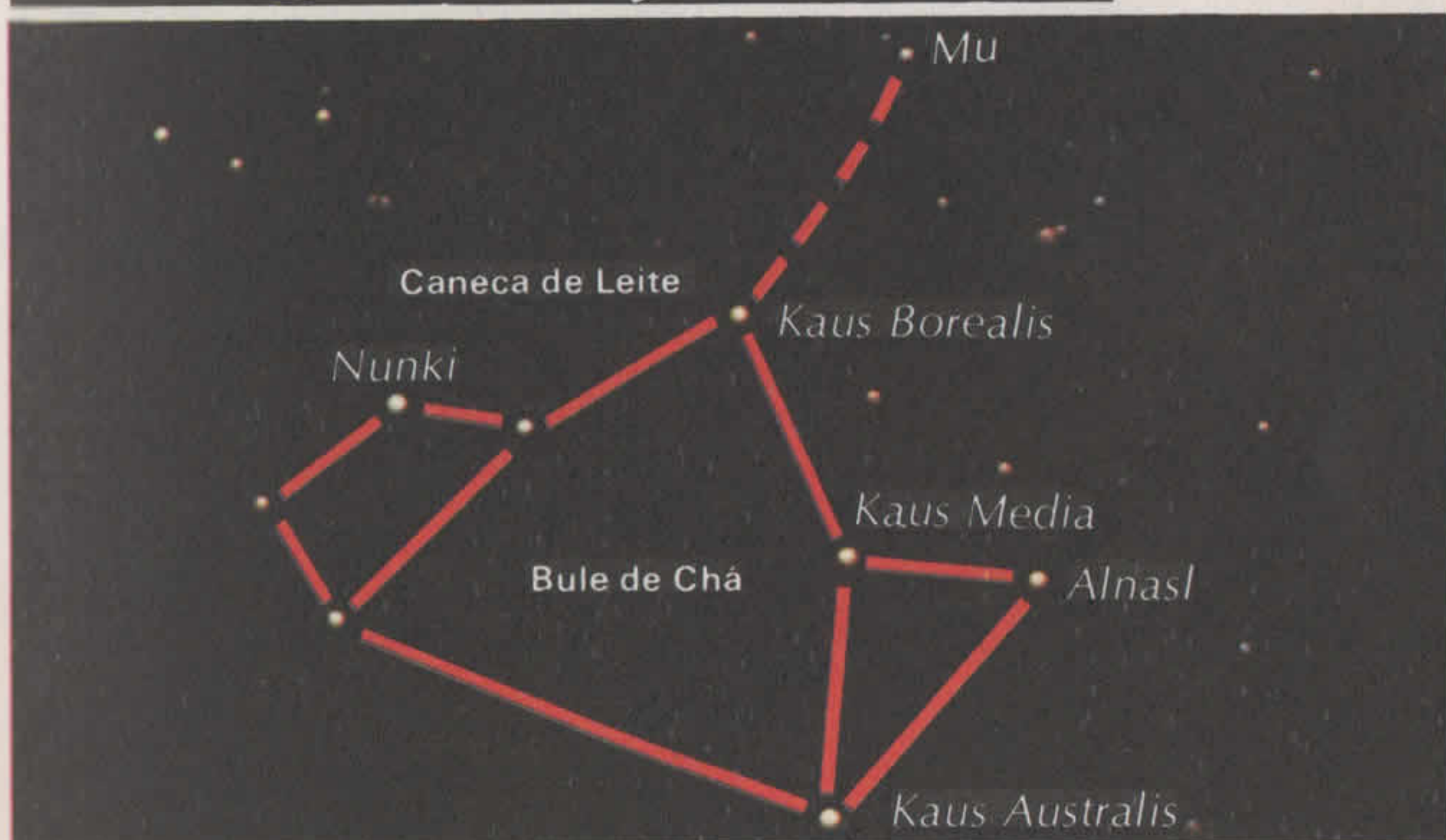
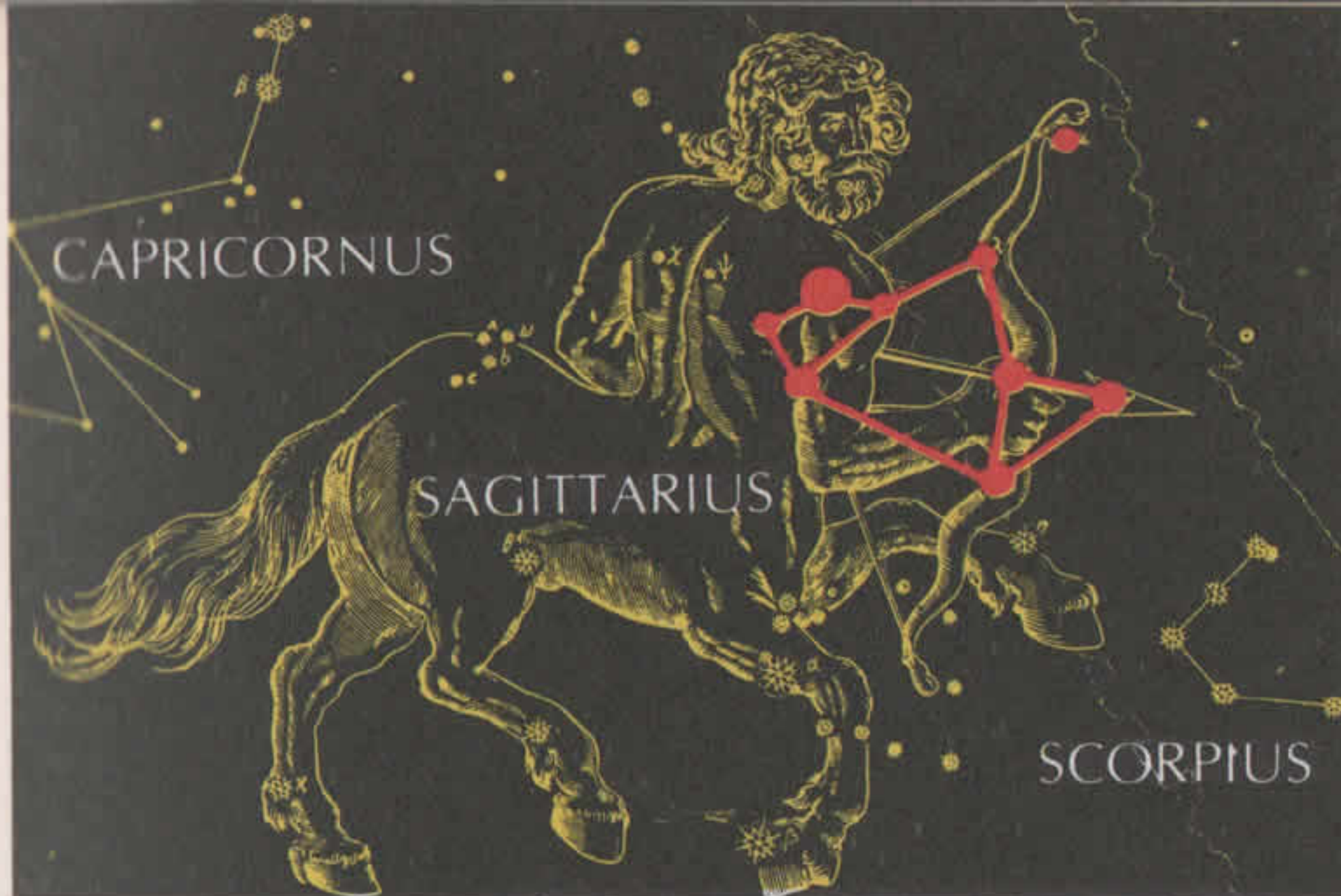
*Scorpius*, o *Escorpião*, é uma das poucas constelações que se assemelha com a figura que representa. Esta constelação acha-se entre Libra e Sagitário, que está apontando sua flecha para o coração vermelho de Escorpião, representado por *Antares*, uma estrela vermelha de primeira magnitude. *Antares* significava "rival de Marte" (chamado de Ares pelos gregos) e a estrela lembra o planeta vermelho. Segundo a mitologia, o Escorpião matou Órion e os deuses colocaram os dois em lugares opostos no céu, para evitar outro encontro. Escorpião tem muitas estrelas brilhantes, com a maioria delas percorrendo o espaço num aglomerado impreciso chamado *associação*. As estrelas de Órion formam outro exemplo de associação. As garras do Escorpião dirigem-se para Libra, mas suas estrelas originais são usadas para formar a Balança. Três estrelas marcam a cabeça do Escorpião enquanto que o corpo em forma de gancho termina com as estrelas *Shaula*, de segunda magnitude, e *Lesath*, de terceira magnitude, representando o ferrão. A parte do Escorpião que contém o ferrão é incorretamente chamada de "cauda do Escorpião", pois os escorpiões não têm cauda e sim uma extensão do abdome.



Nesta página: *Scorpius*, o Escorpião. *Antares* é conhecida como uma estrela gigante vermelha. Ao lado: *Sagittarius*, o Arqueiro, é um dos dois centauros no céu.





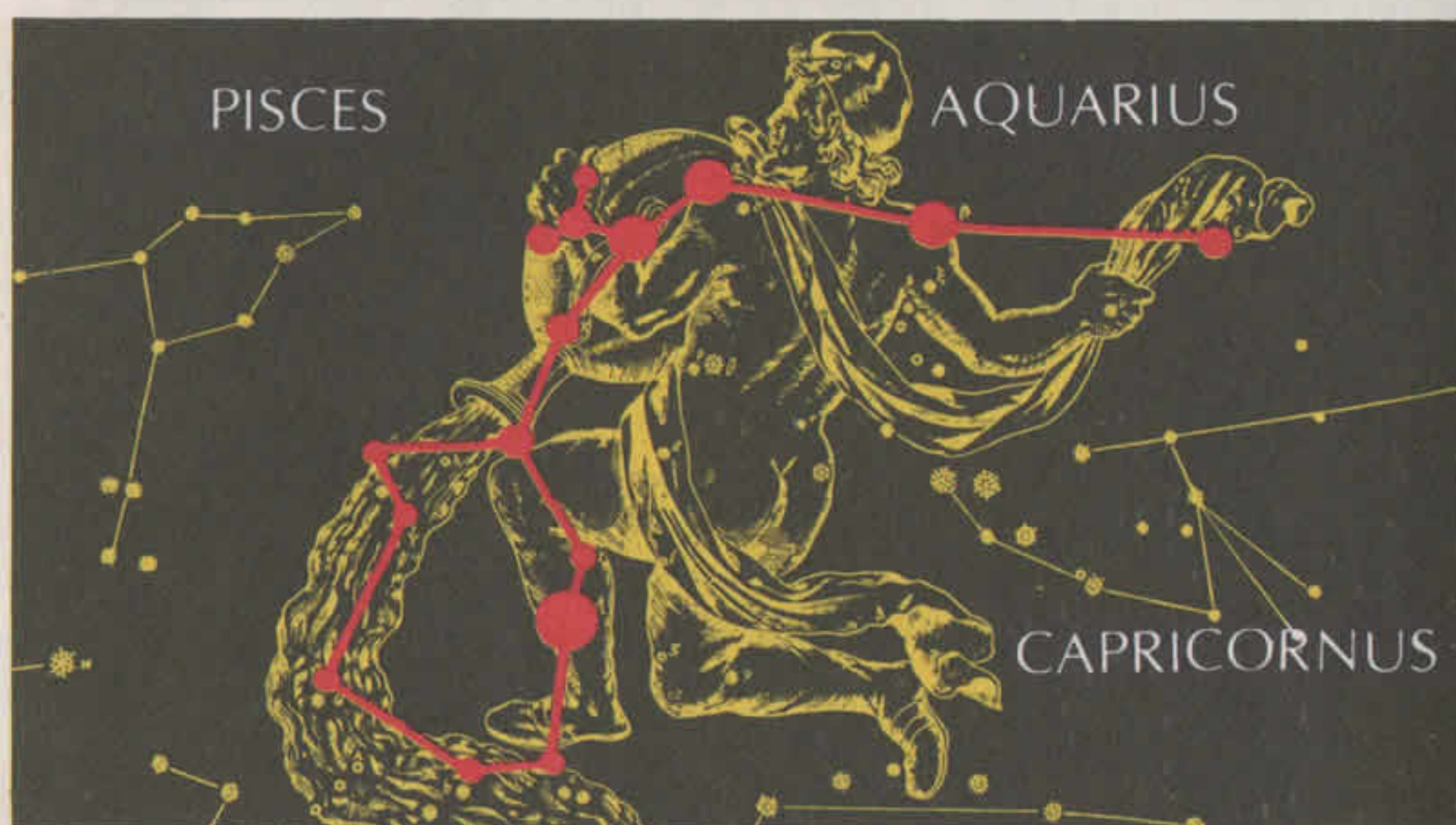


## Sagittarius

*Sagittarius*, o Arqueiro, é uma figura de centauro desferindo sua flecha em direção de Antares, o coração do Escorpião. Sagitário pode ser diferenciado de diversas maneiras. A constelação situa o solstício de dezembro que assinala a maior declinação do Sol ao sul. Quando o inverno começa no hemisfério norte, o verão se inicia nas latitudes médias ao sul do equador. O solstício de dezembro pode ser localizado no céu pela extensão de uma reta da estrela *Nunki* a *Kaus Borealis*, continuando para o oeste por uma distância igual à separação entre essas estrelas.

A constelação forma três asterismos interessantes, o arco e a flecha do Arqueiro, o *Bule de Chá* e a *Caneca de Leite*. *Kaus Borealis*, *Kaus Media* e *Kaus Australis* formam o arco. *Nunki*, *Kaus Media* e *Alnasl* formam a flecha. O *Bule de Chá* inclui todas as estrelas brilhantes da constelação, enquanto que a *Caneca de Leite* liga as estrelas da alça e da tampa do *Bule de Chá* a uma estrela de quarta magnitude chamada *Mu*, acima e a leste do solstício de dezembro. Sagitário fica na direção do centro da Via-láctea e está cheio de nuvens de estrelas e de manchas de luz que, vistas por um telescópio, mostram ser aglomerados e nebulosas.





## Capricornus — Aquarius

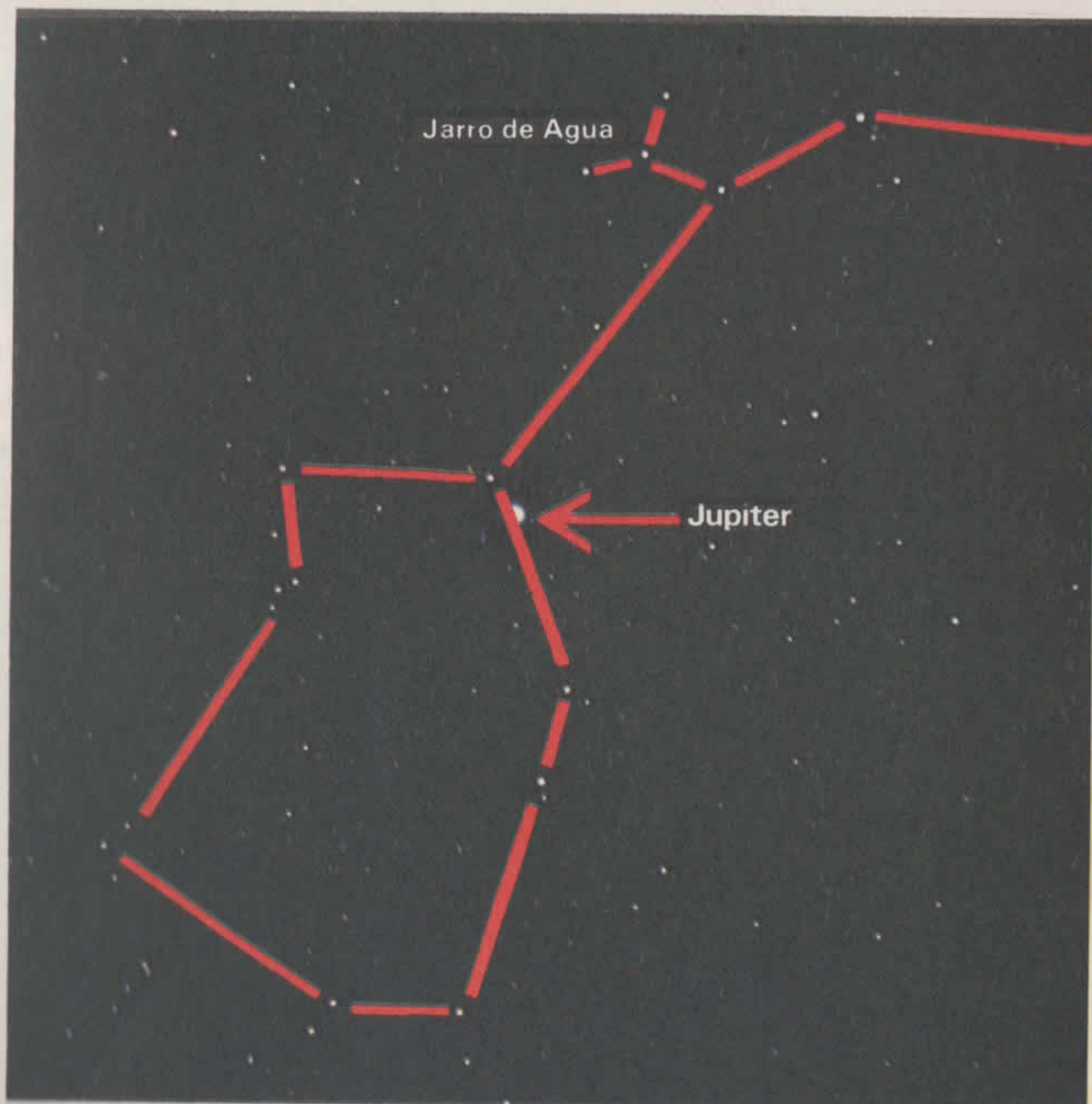
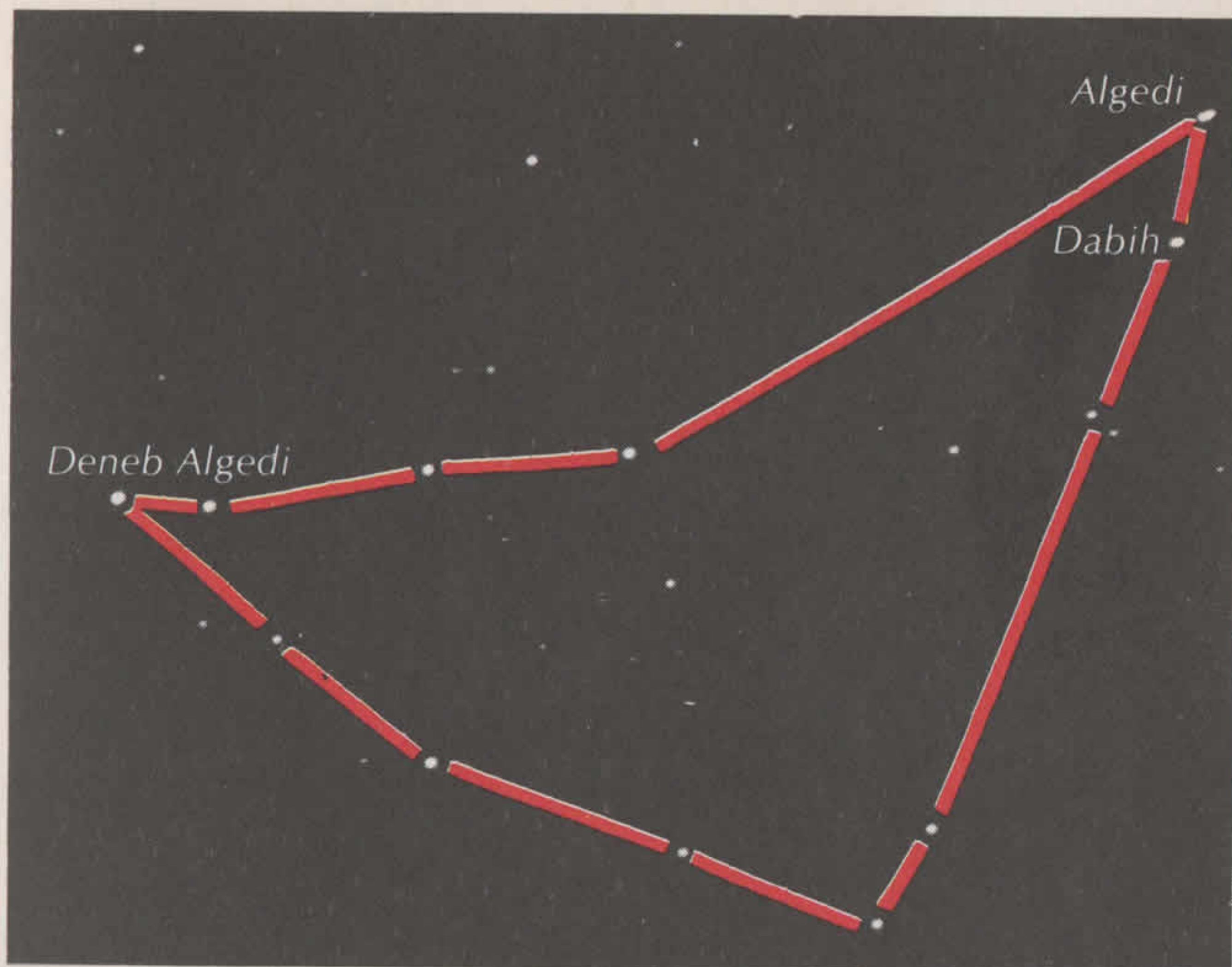
A leste de Sagitário, a eclíptica passa por constelações que se referem à água ou ao mar. São elas *Capricornus*, o Bode do Mar, *Aquarius*, o Transportador de Água, e *Pisces*, os Peixes. Pisces completa o zodíaco, ou Círculo dos Animais. Antigamente, nas regiões mediterrâneas, a estação das chuvas ocorria quando o Sol se localizava entre essas estrelas, refletindo, mais uma vez, a crença na relação direta entre movimentos celestes e os acontecimentos na Terra.

Há dois mil anos, o solstício de dezembro localizava-se em Capricórnio. Como consequência, a latitude geográfica onde o Sol aparecia a prumo durante o solstício chamou-se *Trópico de Capricórnio*. O termo ainda é usado embora a precessão tenha avançado o solstício para Sagitário. Capricórnio, que é representado por um bode com cauda de peixe, tem a forma de um grande triângulo pálido, considerado pelos antigos como o Portão do Céu. A estrela mais brilhante, *Algedi*, representa a cabeça do bode; *Deneb Algedi* identifica a cauda.

Aquário era considerado o *Transportador de Água* dos deuses. O *Jarro de Água* é um asterismo muito distinto formado por um Y de estrelas de quarta magnitude. Outras estrelas fracas caem como uma cascata em direção da estrela *Fomalhaut* na constelação de *Pisces Austrinus*, Peixes do Sul. Na mitologia, essas estrelas representavam a água caindo do Jarro para a boca aberta do Peixe.

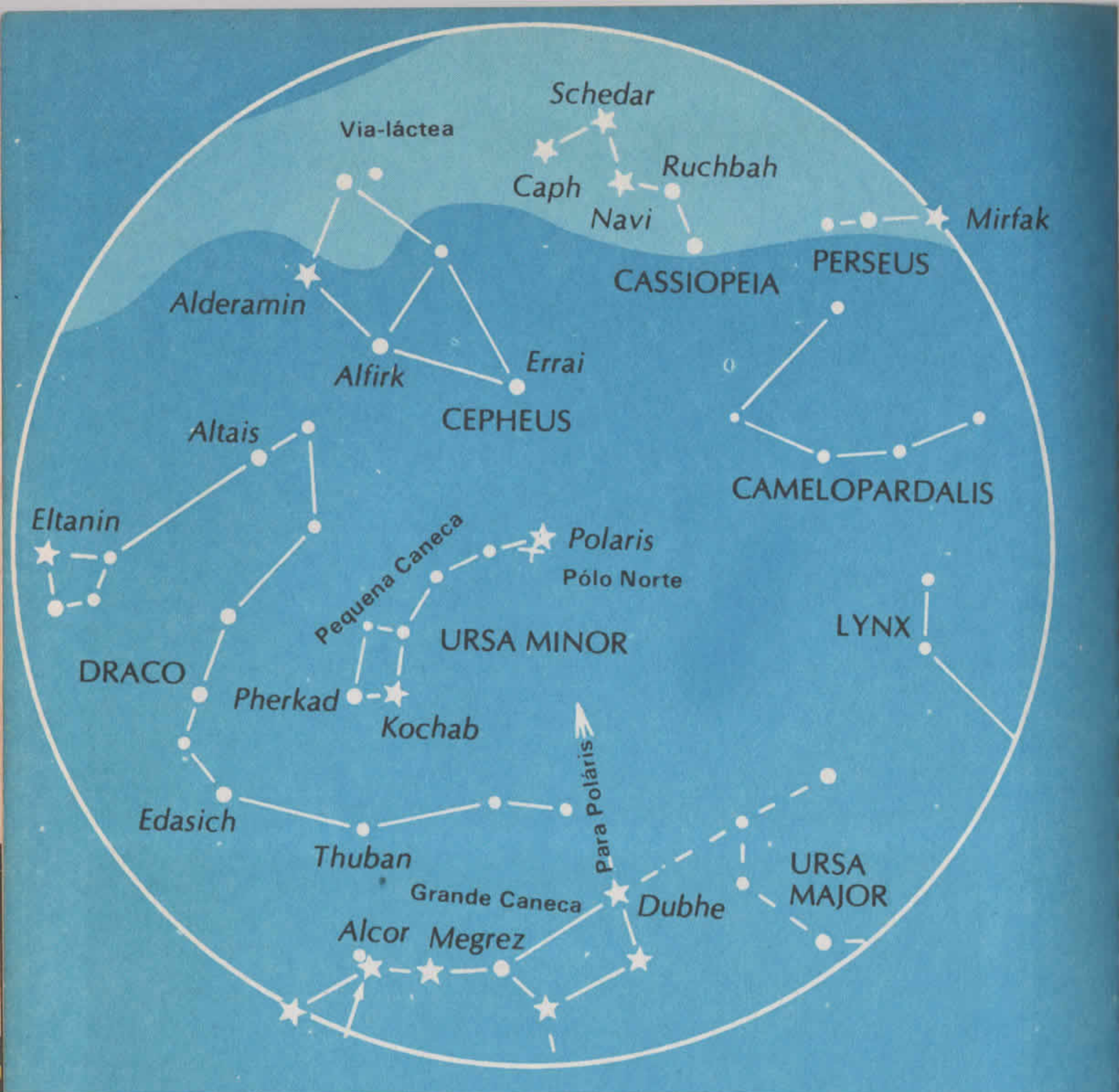
A estrela central do Jarro de Água está quase no equador celeste.





Em cima: Capricórnio representava Baco, deus do vinho e das orgias.  
 Embaixo: Aquário; o planeta Júpiter é o objeto brilhante no centro.





## Das Latitudes Médias no Norte

Para um observador no pólo norte geográfico, todas as direções apontam para o sul. O coluro solsticial está na direção de Betelgeuse, a estrela vermelha brilhante na constelação de Órion. Betelgeuse parecerá estar menos de dez graus acima do horizonte. *Menkalinan*, a segunda estrela mais brilhante de *Auriga*, o *Cocheiro*, estará na mesma direção, mas na metade da distância entre o horizonte e o pólo celeste. Uma mudança de latitude um grau para o sul na direção de Betelgeuse e de Menkalinan trará as estrelas um grau mais alto no céu até que, em latitude média, entre o equador geográfico e o pólo norte, Menkalinan aparecerá no zênite. Todas as localidades da Terra com a mesma latitude verão o céu dessa maneira, incluindo a França, os Estados Unidos na fronteira com o Canadá, o sul da URSS, a Mongólia, a China e o norte do Japão. O ângulo no meridiano entre o zênite e o equador celeste é igual à latitude do observador. Se o equador celeste está 30° ao sul do zênite, o observador está a 30° de latitude norte, no sul dos Estados Unidos, ao longo da fronteira do México, na África do Norte, no Oriente Médio e na China.



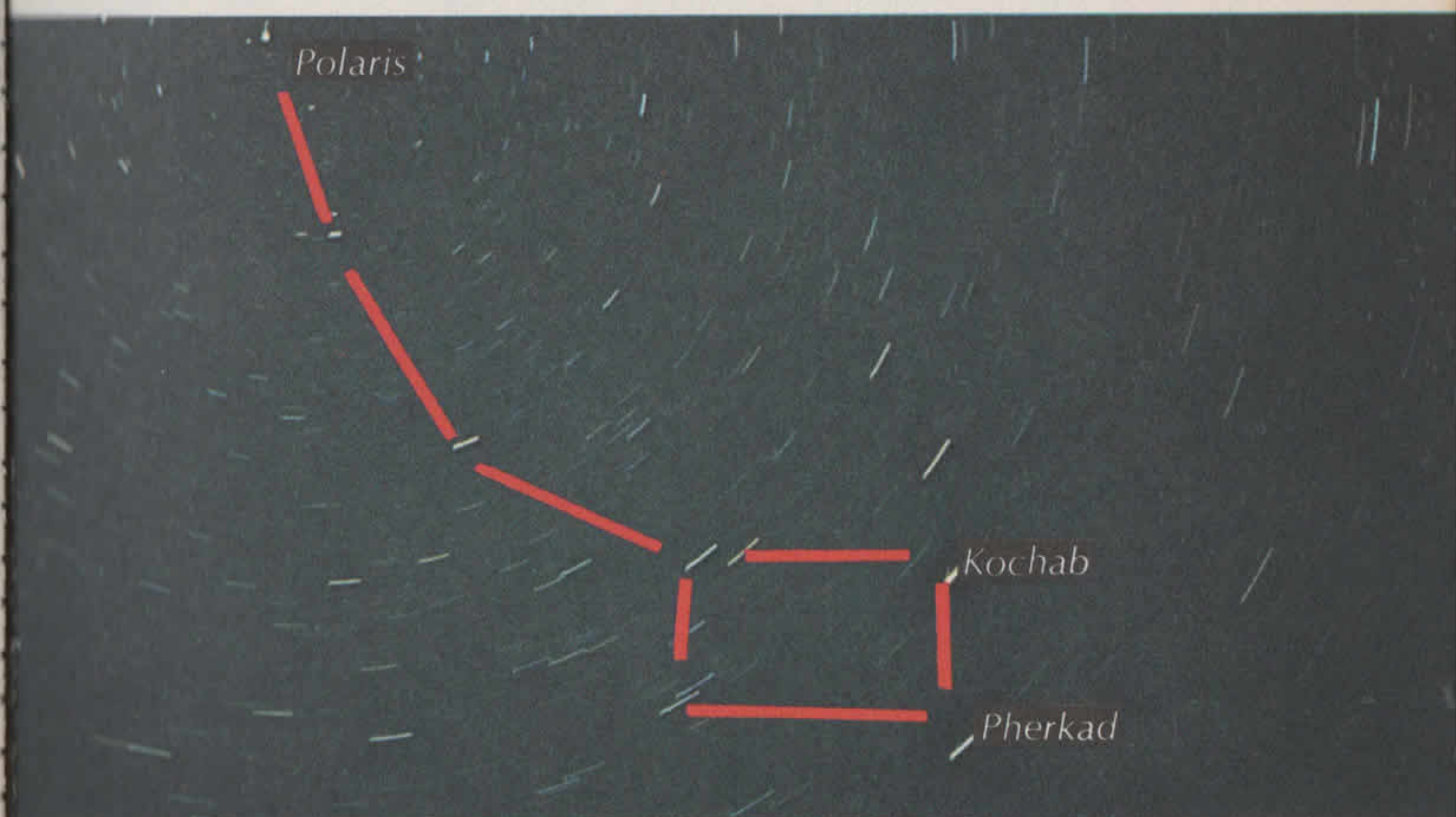
## As Estrelas Circumpolares do Norte

Nos Estados Unidos, o grupo mais familiar de estrelas circumpolares é chamado de *Grande Caneca*, um asterismo conhecido por vários nomes, incluindo o *Navio* e *Carro de Charles*. No Japão, constitui a *Carruagem do Imperador*. Essas sete estrelas formam o corpo e a cauda da *Ursa Maior*. As duas estrelas na extremidade do bojo, *Merak* e *Dubhe*, são os Ponteiros, guiando o observador para Poláris e para o pólo celeste. Poláris marca a extremidade da cauda da *Ursa Menor*. A *Pequena Caneca* é formada pelas sete estrelas mais brilhantes da *Ursa Menor*. Duas das quatro estrelas no bojo da Pequena Caneca são de segunda e de terceira magnitude. São as chamadas *Guardiãs do Pólo*.

Entre as duas Ursas estão as estrelas que formam a cauda de *Draco*, o Dragão. O resto da constelação faz uma curva em redor do bojo da Pequena Caneca em direção de Poláris. Depois o corpo do Dragão arqueia em direção da alça da Grande Caneca. Dirigindo-se para Alkaid, na Grande Caneca, o Dragão termina com quatro estrelas que formam a cabeça; outras estrelas fracas representam sua língua flamejante.

Oposta à *Ursa Maior*, do outro lado de Poláris, um W ou um M familiar delineia a cadeira de *Cassiopéia*, a *Rainha*. A estrela *Caph* está perto do coluro equinocial e pode ser usada como guia para o equinócio de março.

*Cepheus*, o *Rei*, marido de *Cassiopéia*, é uma constelação fraca encontrada entre a Rainha e o Dragão. Um traço digno de nota em *Cepheus* é a estrela variável chamada *Delta Cephei*. Atinge a quarta magnitude, no máximo, e depois cai para a quinta magnitude, no mínimo, num período de 5.366 dias. *Delta Cephei* é o protótipo das estrelas variáveis chamadas *Cefeidas variáveis*.



Em cima: Estrelas circumpolares a 40° de latitude norte. Ao lado: Trilhas de estrelas mostram o efeito da rotação da Terra.



O céu do norte em marco.

O céu do norte em 21 de março.  
O equinócio de setembro cruza o meridiano à meia-noite.



Magnitude das estrelas





## O Céu do Norte em Março

O céu de março no hemisfério norte tem muito poucas constelações visíveis mas muitas estrelas brilhantes. Uma exceção é a constelação *Leão* do zodíaco, com um asterismo característico chamado a *Foice*. A *Ursa Maior* com a *Grande Caneca* está bem em cima, com *Leo Minor* no zênite, entre *Leão* e a *Ursa Maior*. *Leão Menor* é outra constelação formada por *Hevelius* para ocupar uma área sem nenhuma constelação especificada. Suas estrelas são apenas de quarta magnitude. A leste de *Leão* e a norte de *Virgem* está um outro grupo fraco chamado *Coma Berenices*, a Cabeleira de Berenice. A leste da Cabeleira de Berenice está uma estrela brilhante alaranjada chamada *Arcturo*, na constelação de *Boötes*, o Boieiro. Acima do Boieiro e abaixo da alça da Grande Caneca estão seus cães de caça, *Canes Venatici*. Os gregos associavam *Boötes* com *Arcas*, o inventor lendário do arado, e a constelação também recebeu o nome de *Arktos*, o *Guarda da Ursa*. A estrela *Arcturo* conserva esse nome antigo. O Círculo Ártico, o limite da Zona Frígida da Terra, significa o círculo do urso. *Canes Venatici* contém uma estrela brilhante, *Cor Caroli*, o Coração de Carlos.

## O Céu do Norte em Junho

Em junho, as estrelas de *Escorpião* e de *Sagitário* passam pouco acima do horizonte sul. *Arcturo* domina o céu ocidental enquanto *Vega*, de *Lira*, está a prumo. Uma linha imaginária entre essas estrelas localiza a *Corona Borealis*, a Coroa do Norte, e *Hércules*, herói dos gregos antigos. A Coroa contém um colar de estrelas, sendo que a mais brilhante chama-se *Gemma*, a Gema da Coroa. Gema também tem o nome de *Alphecca*, uma corruptela da palavra árabe que significa "prato". *Hércules*, ou o Ajoelhado, forma um grande H entre *Corona Borealis* e *Lira*. Na lenda, ele ficou famoso por sua grande força, sendo colocado no céu como recompensa. Abaixo do H está uma estrela vermelha de terceira magnitude, *Rasalgethi*. Uma das maiores estrelas, sua fraqueza diante de nossos olhos não dá idéia de seu diâmetro que é quatro vezes a distância entre a Terra e o Sol.

O *Triângulo de Verão* domina o céu. Este asterismo é formado pelas estrelas mais brilhantes de três constelações incluindo *Vega*, de *Lira*, *Deneb*, de *Cisne*, e *Altair*, de *Águia*. *Vega* é a estrela mais brilhante do céu do verão, passando a prumo nas latitudes médias e no zênite entre 38° e 39° de latitude norte. *Altair*, em *Aquila*, a *Águia*, fica no sul e é localizada por suas companheiras, *Tarazed* e *Alshain*, situadas em distâncias iguais de cada lado de *Altair*. As três estrelas formam uma linha reta até *Vega*. *Deneb* em *Cygnus*, o *Cisne*, está a nordeste de *Vega*. No centro do Triângulo de Verão, a parte vertical de outro asterismo, o *Cruzeiro do Norte*, acompanha a *Via-láctea*. A estrela aos pés da cruz é *Albireo*, a palavra árabe que significa "cabeça do cisne".



A direita *Aquila*, a águia de Zeus.  
 Embaixo, à direita: *Ursa Maior*.  
 Embaixo: *Hércules*, herói dos gregos  
 antigos.





O céu do norte  
em setembro

O céu do norte em  
22 de setembro  
O Equinócio de Março  
cruza o meridiano à  
meia-noite.

Magnitude das estrelas





## O Céu do Norte em Setembro

Quando começa o outono no hemisfério norte, o equinócio de março atravessa o meridiano à meia-noite. Acima de *Peixes* está *Pégaso*, o *Cavalo Voador*, com um asterismo característico, o *Grande Quadrado*. *Alpheratz* no canto norte do quadrado pertence a *Andrômeda*, a *Princesa Acorrentada*. Duas fileiras de estrelas, formando uma cunha em direção do leste, delineiam a figura da Princesa. Acima de *Andrômeda* está *Cassiopeia*, a *Rainha*. *Perseu*, o *Herói*, está a leste de *Andrômeda* e se estende até *Touro*. O *Triângulo* está ao sul de *Andrômeda*.

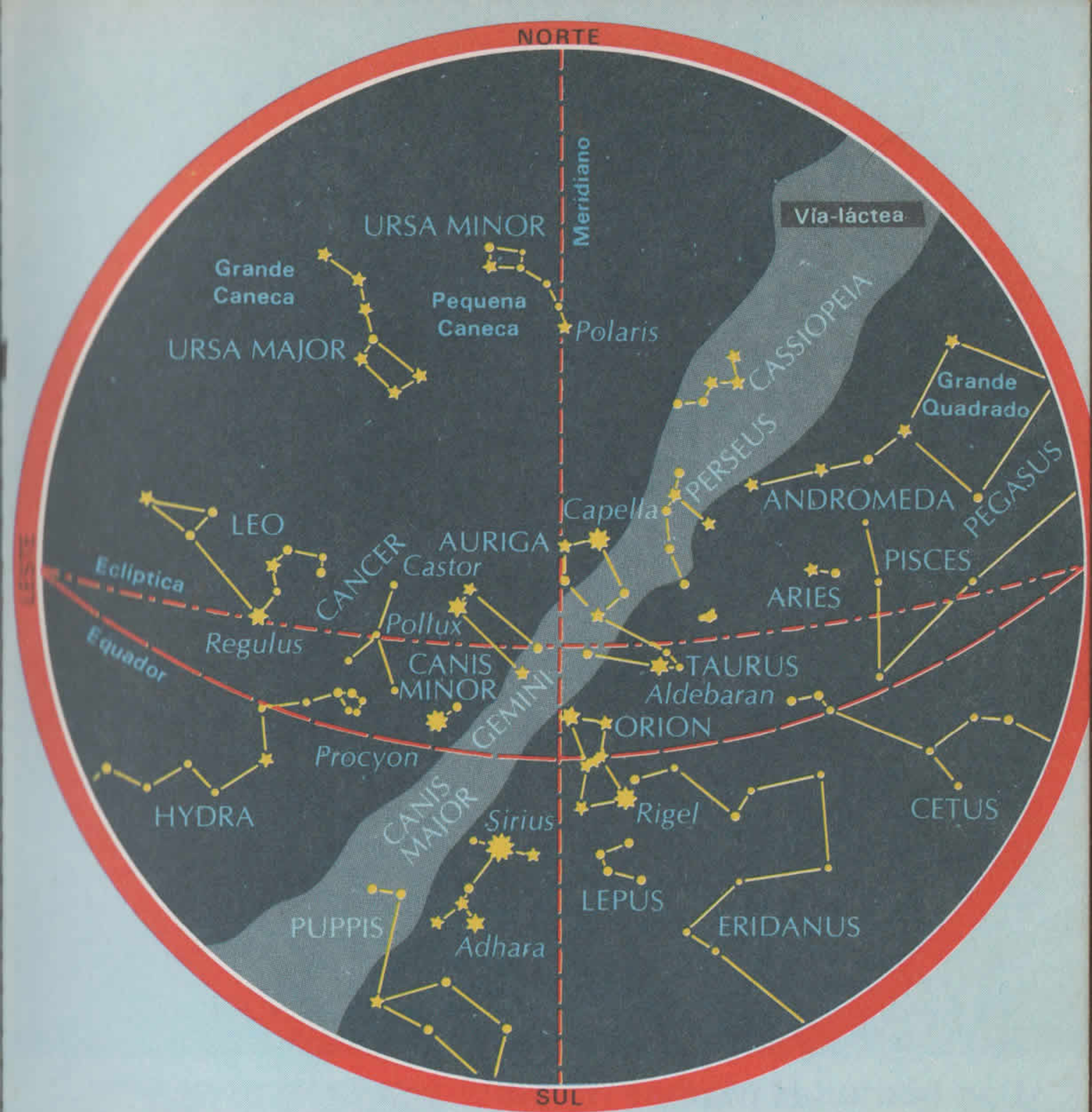
O *Triângulo de Verão* está a prumo no crepúsculo. Com o girar da Terra, a Via-láctea, com *Cassiopeia* e *Perseu*, passa no zênite. O *Grande Quadrado* fica no sul, ao alto. As estrelas de inverno de *Touro* com as *Plêiades* são vistas no horizonte a leste. A *Grande Galáxia* de *Andrômeda* aparece como um clarão fraco acima da estrela *Mirach*. Eis uma outra Via-láctea, um sistema com bilhões de estrelas tão distantes que são necessários quase três milhões de anos para que sua luz atinja a Terra.

As lendas das estrelas de outono são mais interessantes. *Cassiopeia* fez com que sua filha *Andrômeda* fosse acorrentada num rochedo perto de um monstro marítimo terrível, *Cetus*. *Perseu*, que tinha decapitado a *Medusa*, libertando *Pégaso*, o *Cavalo Voador*, salvou *Andrômeda* empunhando a cabeça de *Medusa* diante de *Cetus*. O monstro marítimo tornou-se pedra ao fitar o olho malévolo, representado pelo brilho mutável da estrela *Algol* (do árabe *al ghul*, o demônio).

## O Céu do Norte em Dezembro

Órion domina o céu de dezembro no hemisfério norte. Nenhuma outra constelação tem tantas estrelas brilhantes num asterismo distinto. Um halo de estrelas brilhantes encontrado em outras constelações cerca o "Poderoso Caçador". Para os antigos egípcios, Órion identificava-se com Osíris, que morria periodicamente, revivendo com a inundação do Nilo. As três estrelas que assinalam o cinturão de Órion, *Mintaka*, *Alnilam* e *Alnitak*, ajudam a localizar mais duas constelações: para o oeste, as estrelas do cinturão apontam para *Sírius*, a *Estrela do Cão*, em *Canis Major*, o *Cão Maior*. *Sírius* é a estrela mais brilhante do céu com -1,42 de magnitude. Uma linha diagonal através de Órion, da estrela azul *Rigel* até *Betelgeuse* e continuando para o norte, localiza *Gêmeos* com *Castor* e *Pollux*. Acima de Órion, o céu é dominado por *Auriga*, o *Cocheiro*. Uma estrela proeminente no canto ocidental superior dessa figura em forma de pentágono é *Cappela*, uma estrela de 0,08 de magnitude. Ao norte de *Auriga* está *Lince*, uma constelação fraca, com apenas uma estrela de mais de quarta magnitude. Denominada por *Havelius* no século XVIII, é fraca demais para ter sido incluída entre as constelações clássicas da Antiguidade.





Em cima, à esquerda: Auriga, o Cocheiro, segurando Capella, a cabra. Em cima, à direita: Pégaso, o cavalo voador de Belerofonte. À direita: Cão Maior, um dos cães de caça de Órion.





## Das Latitudes Médias no Sul

No pólo sul geográfico todas as direções apontam para o norte com o cinturão de Órion no horizonte. Esta constelação localiza o coluro solsticial em A.R. de 6h. Diante de Órion, *Canopus*, a estrela brilhante de *Carina*, a Carena, aparece na metade da distância para o zênite. Sírius, a estrela mais brilhante, está cerca de dezessete graus acima do horizonte. Uma linha imaginária de Canopo até *Furud* e *Mirzam*, em *Canis Major*, segue paralela e passa perto do coluro. O movimento para o norte traz Órion para cima do horizonte. O pólo sul celeste baixa em direção do sul o mesmo número de graus de arco da mudança da latitude. A  $30^\circ$  de latitude sul na África do Sul, na Argentina e na Austrália, Órion passa  $60^\circ$  acima do horizonte norte. O equador celeste atinge o horizonte nos pontos leste e oeste. A distância angular no meridiano celeste entre o zênite e o equador celeste mede a latitude da posição. Este ângulo é igual à elevação do pólo celeste acima do horizonte sul. Com A.R. de 6h no meridiano, a eclíptica irá cruzar o equador celeste nos pontos leste e oeste do horizonte. O solstício de junho está  $36\frac{1}{2}^\circ$  acima do ponto norte no horizonte.



## As Estrelas Circumpolares do Sul

No pólo sul geográfico todas as estrelas são circumpolares e permanecem acima do horizonte durante 24 horas por dia. No equador, todas as estrelas nascem e se deitam no mesmo período de tempo. Nas latitudes médias (Nova Zelândia,  $40^\circ$  ao sul), a maioria das estrelas brilhantes são circumpolares acima do horizonte sul. Quando o coluro solsticial está no meridiano, a estrela brilhante Canopo aproxima-se do ponto sul no horizonte. Um visitante procedente do hemisfério norte vai achar que a rotação da Terra faz com que o céu pareça girar da direita para a esquerda, o contrário das estrelas do norte. Na metade da distância entre o horizonte sul e o pólo celeste está o pólo sul eclíptico, o ponto da esfera celeste que é perpendicular ao plano orbital da Terra. A separação angular de  $23\frac{1}{2}$  entre esse ponto e o pólo celeste é uma medida da inclinação da Terra em seu eixo. Por perto, acha-se a Grande Nuvem de Magalhães que parece um pedaço da Via-láctea. A noroeste está a Pequena Nuvem de Magalhães que, como sua companheira maior, é um outro sistema de estrelas além da Via-láctea.

*Crux*, o Cruzeiro do Sul, é útil nos céus do sul como a Grande Caneca o é no norte. Na Grande Caneca, as estrelas do bojo, *Merak* e *Dubhe*, apontam para o pólo norte celeste. A parte vertical do Cruzeiro, formada por *Acrux* embaixo e *Gacrux* em cima, aponta na direção do pólo sul celeste. Infelizmente não há uma "estrela polar" no céu do sul. Para se encontrar o pólo, deve-se imaginar uma linha no céu entre *Achernar*, em *Erídano*, e *Hadar*, em *Centauro* (*Centaurus*). A extensão da parte vertical do Cruzeiro irá cruzar esta linha no pólo celeste. Quando a Terra gira, o Cruzeiro faz um círculo em redor do pólo em 24 horas, com *Acrux* e *Gacrux* apontando em sua direção.

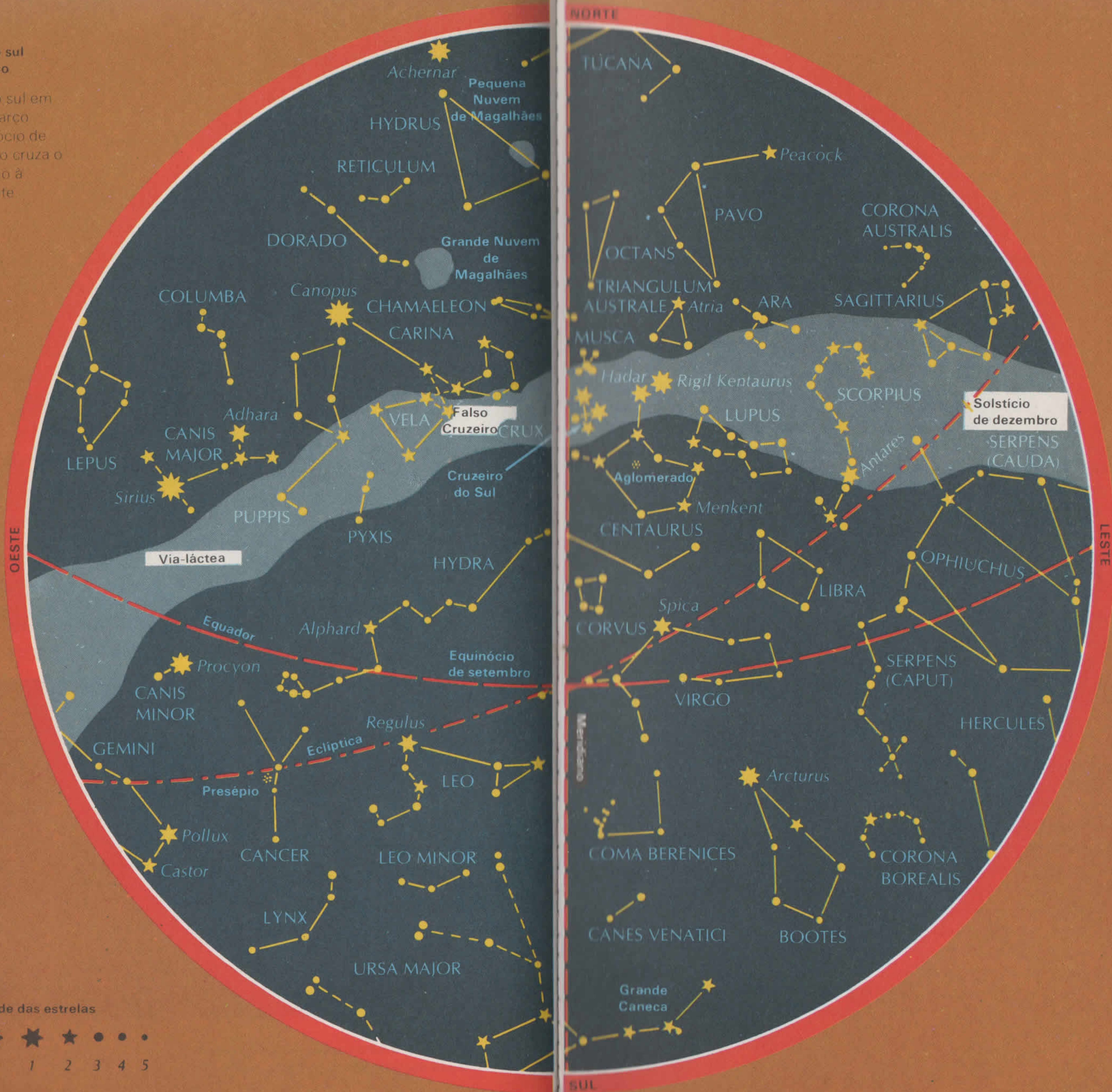


Sul da Via-láctea na direção do Cruzeiro do Sul;  
a nebulosa escura chama-se Saco de Carvão.



O céu do sul  
em março

O céu do sul em  
21 de março  
O Equinócio de  
Setembro cruza o  
meridiano à  
meia-noite





## O Céu do Sul em Março

Em março, à meia-noite, *Regulus* de Leão está acima do horizonte, ao noroeste. A oeste de *Regulus*, a cabeça de *Hydra*, a *Serpente do Mar*, acompanha *Procyon* para o ponto oeste do horizonte, enquanto seu corpo longo e retorcido arqueia em cima de Leão (*Leo*) em direção do zênite e de Libra, ao leste. *Alphard*, uma estrela de segunda magnitude, marca o coração da Hidra. Os gregos viam a constelação como se fosse a Serpente do Mar, enquanto que os egípcios representavam as estrelas como o rio Nilo. A cabeça triangular da serpente tornou-se o delta do rio. O sol estava na eclíptica, ao norte de Hidra, quando o Nilo inundava suas margens. Duas constelações pequenas, *Corvus*, o *Corvo*, e *Crater*, a *Taça*, estão empoleiradas nas costas da Hidra.

O *Falso Cruzeiro* e o *Cruzeiro do Sul* estão entre o zênite e o pólo sul celeste. *Rigel Kentaurus* e *Hadar* e *Menkent* localizam o Centauro, sobre o *α* Cruzeiro. Para os gregos, Centauro era Quiron, o sábio tutor de Aquiles. Uma configuração incomum é *Omega de Centauro*, um aglomerado globular de estrelas suficientemente brilhantes para serem vistas a olho nu. Aglomerados globulares cercam o centro e proporcionam um indício da estrutura da Galáxia e da localização da Terra nesse sistema de estrelas. Em direção do pólo acham-se estrelas fracas nas constelações de *Chamaeleon*, o *Camaleão*; *Musca*, a *Mosca*; e *Circinus*, o *Compasso*.

## O Céu do Sul em Junho

Em junho, a Via-láctea arqueia a prumo com Escorpião e Sagitário perto do zênite. Canopo está para cruzar o ponto sul, enquanto que no norte, a quinta estrela mais brilhante, Vega, passa acima do horizonte. Entre Vega e Escorpião está *Ofiuco*, o *Carregador da Serpente*, agarrando uma cobra enorme representada por *Serpens Caput*, a *Cabeça*, e *Serpens Cauda*, a *Cauda*. Esta constelação tem uma lenda que associa essas estrelas a Laocoonte, o sacerdote troiano que foi morto por uma serpente, juntamente com seus filhos, por ter advertido o povo a respeito do cavalo de madeira trazido pelos gregos. A *Corona Australis*, a *Coroa do Sul*, está no zênite. Esse semicírculo de estrelas lembra sua companheira do norte, a *Corona Borealis*. Ao sul está um grupo triangular de estrelas fracas chamado *Telescópio*, que é outro instrumento acrescentado à lista de constelações nos tempos modernos. Outro instrumento de navegação, *Norma*, o *Esquadro*, também está por perto. Entre o Telescópio e o Esquadro está *Ara*, o *Altar*. Entre o pólo celeste e essas constelações fracas há uma região de estrelas brilhantes. Voltada para o sul, *Alfa de Centauro* aparece ao oeste do meridiano. A leste do meridiano e mais alto no céu está *Pavo*, o Pavão. Sua estrela mais brilhante também se chama *Pavão*. Entre essas estrelas e ao sul de Ara, três estrelas formam um triângulo isósceles chamado *Triangulum Australe*, o Triângulo do Sul, com a estrela de navegação, *Atria*, formando o vértice do triângulo.



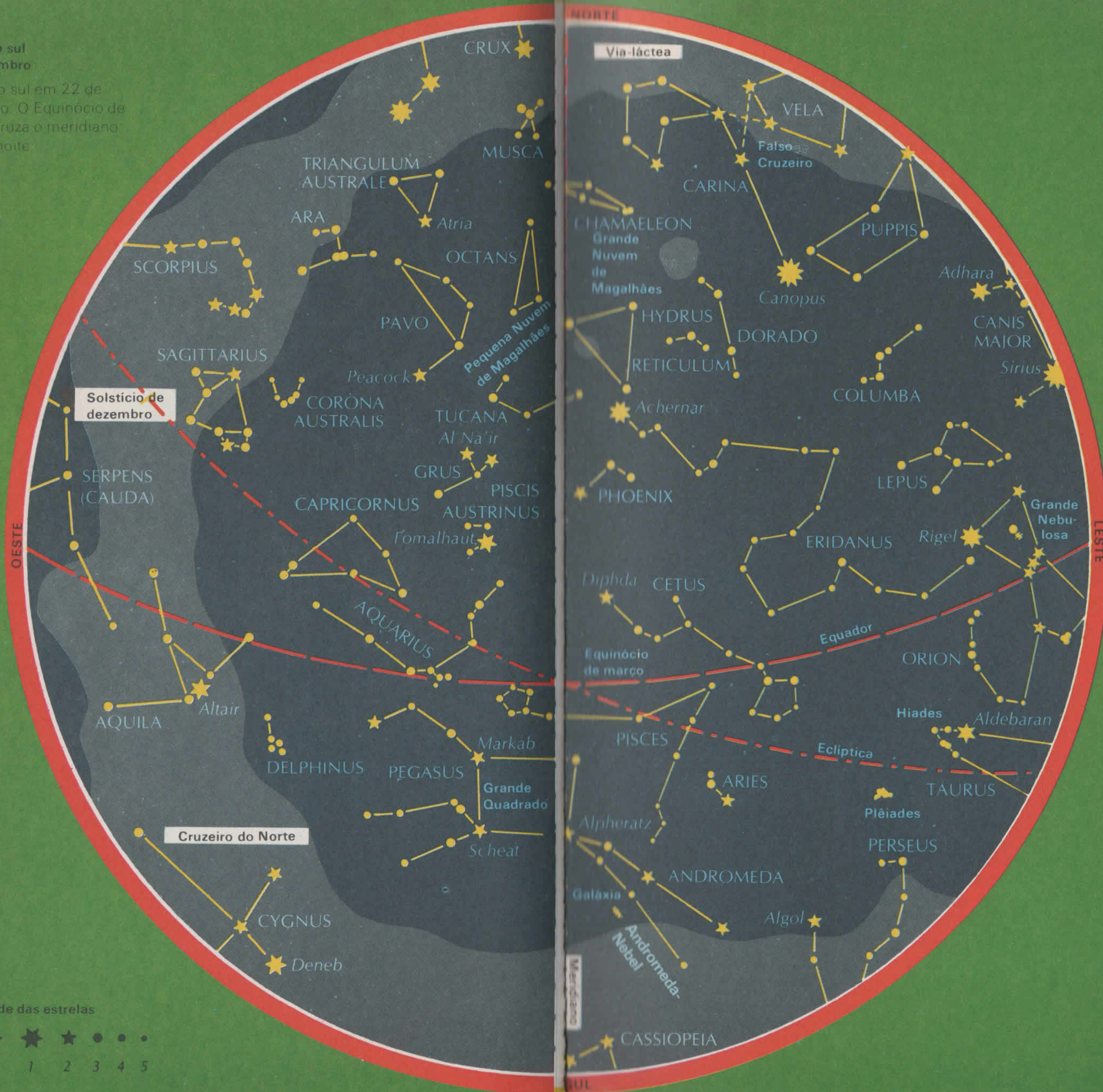
À direita: *Corona Australis*, a Coroa do Sul.  
 Embaixo, à direita: *Serpens* associada à  
 estória de Laocoonte.  
 Embaixo: Centauro com *Crux*, o Cruzeiro  
 do Sul.





O céu do sul  
em setembro

O céu do sul em 22 de  
setembro. O Equinócio de  
Março cruza o meridiano  
à meia-noite.





## O Céu do Sul em Setembro

O céu de setembro contém grande número de constelações associadas com a água. Ao norte, podem-se identificar *Capricórnio*, *Aquário* e *Peixes* no zodíaco. Entre essas constelações e o zênite estão *Piscis Austrinus*, o Peixe do Sul, e *Cetus*, a Baleia. Partindo de *Rigel*, em Órion, no horizonte oriental, *Eridanus*, o Rio, serpeia através do céu do sudeste.

*Pegasus*, o Cavalo Voador, plana pelo horizonte norte à meia-noite, com o Cruzeiro do Sul no horizonte oposto ao sul. Uma linha através de *Alpheratz* e *Algenib*, no Grande Quadrado, continuando até o Cruzeiro do Sul, acompanha o coluro equinocial ao longo do meridiano. Bem a leste do meridiano e ao sul de Peixes está *Cetus* com a estrela *Diphda*, de segunda magnitude, a cauda da Baleia. A oeste do meridiano e perto do zênite está a estrela de primeira magnitude, *Fomalhaut*, localizada por uma linha partindo de *Scheat* e *Markab* no Grande Quadrado. *Fomalhaut* e *Diphda* formam um losango com *Ankas*, em *Phoenix*, e *Al Na'ir*, em *Grus*. *Grus*, o Grou, é interessante pela estrela dupla, Delta, que forma um triângulo com *Al Na'ir* e Beta. *Eridanus* serpeia atravessando grande parte do céu, sugerindo um rio para muitas culturas do Mediterrâneo. A Pequena Nuvem de Magalhães está na extremidade de um grande triângulo de estrelas de terceira magnitude representando *Hydrus*, a Cobra d'Água.

## O Céu do Sul em Dezembro

O céu do sul em dezembro contém as estrelas mais brilhantes vistas da Terra. A mais brilhante de todas é *Sirius*, na constelação de Cão Maior. À meia-noite, esta estrela está bem no alto, ao norte, e forma uma reta com as três estrelas no cinturão de Órion. De acordo com os gregos, Cão Maior era um dos cães de caça de Órion. No Egito, observou-se que *Sirius* nascia com o Sol, no alvorecer, pouco antes da inundação do rio Nilo, acreditando-se, por isso, que este nascer helíaco era responsável pela inundação.

*Canis Minor*, o outro cão de caça de Órion, é identificado por Prócion, a Estrela do Cão Menor. Prócion recebeu esse nome porque se levanta antes de *Sirius*. Bem acima do horizonte estão *Castor* e *Pollux*, os Gêmeos. No zênite está Canopo, na constelação de *Carina*. Canopo é a segunda estrela mais brilhante e pode parecer ligeiramente mais fraca do que Sírius, mas é intrinsecamente mais brilhante, com uma temperatura muito mais alta. *Carina*, a Carena, era parte de uma constelação maior chamada *Argo Navis*, o navio dos Argonautas da lenda grega. Duas estrelas de *Carena*, *Epsilon* e *Iota*, e outro par, *Kappa* e *Delta* de Vela, formam o "Falso Cruzeiro" que foi confundido com o Cruzeiro para desalento dos marinheiros. Outras partes da antiga constelação de *Argo* incluem *Pyxis*, a Bússola, e *Puppis*, a Popa do navio.





Em cima: Hidra, a Serpente do Mar, criatura lendária de várias cabeças. À esquerda: *Cetus*, a Baleia ou o Monstro do Mar. A estrela variável Mira na base do pescoço de *Cetus* fica invisível quase que o ano todo.







# A LUA

A lua é o segundo objeto mais brilhante no céu. Antes do desenvolvimento da iluminação artificial, a lua cheia proporcionava luz para iluminar as horas de escuridão. A lua cheia mais próxima do equinócio de outono ajudava os fazendeiros ampliando o tempo em que podiam trabalhar nos campos depois do crepúsculo. No inverno, os dias curtos eram compensados pela lua cheia, brilhando no céu. Numa distância média de 384.500 quilômetros, a Lua é o objeto mais próximo no espaço. A Terra e a Lua giram juntas em órbitas em redor do Sol. Geralmente, a Lua é considerada um satélite da Terra, mas como o diâmetro da Terra é apenas quatro vezes maior, as duas são, às vezes, classificadas como um sistema de "planetas gêmeos". Em sua revolução, a Lua muda de posição em direção do leste cerca de 13° por dia e, quando gira, a parte de sua superfície visível na Terra fica diferente. Essas fases da Lua contribuem para sua beleza e para seu fascínio. A palavra "month", que significa "mês" em inglês, deriva de "moonth" ("moon" lua), o período de tempo ou os dias necessários para a Lua passar por todas as suas fases.

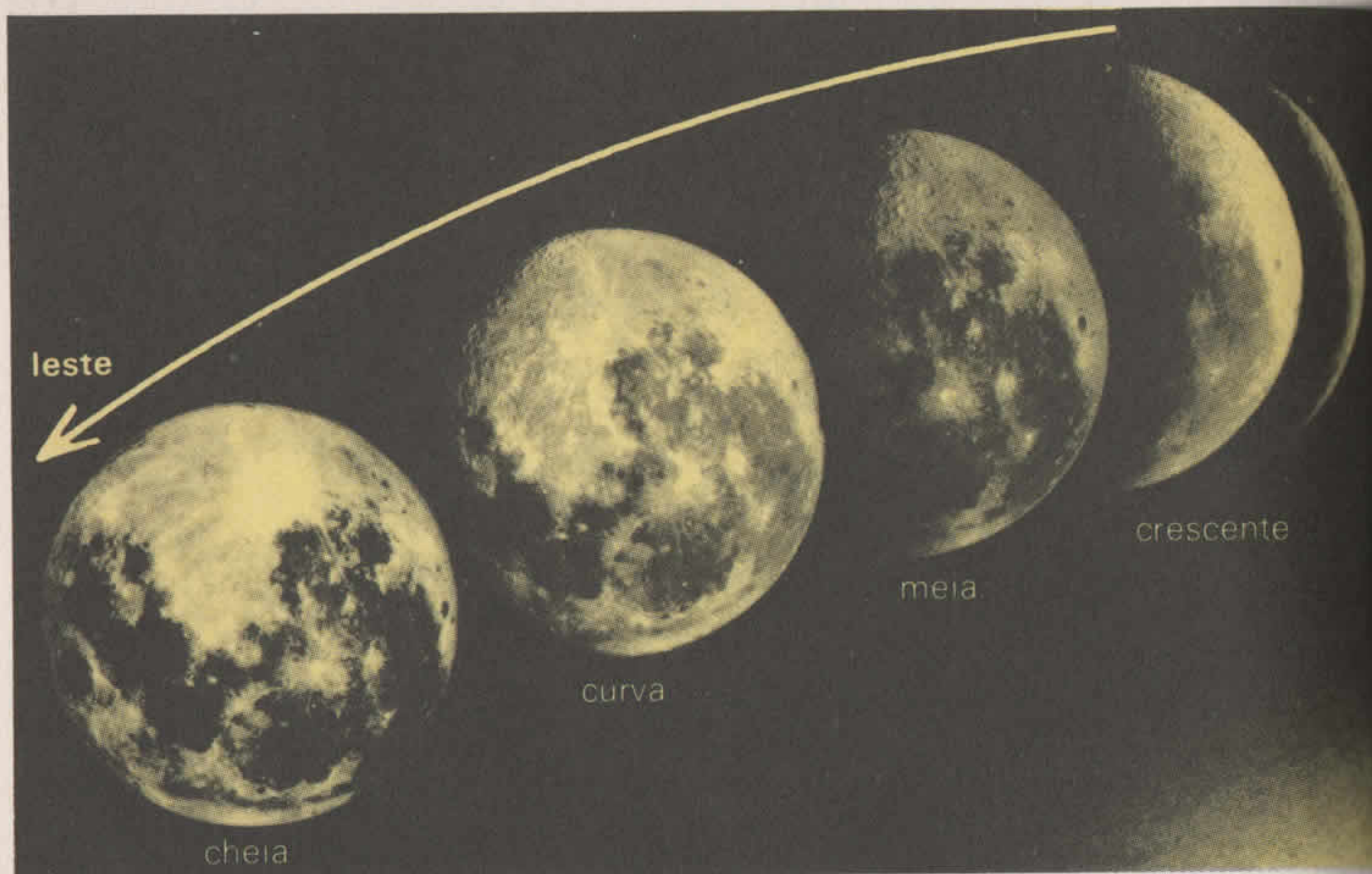
Há algum tempo, acreditava-se que a Lua exercia influência sobre as pessoas. A palavra *lunático* significava "possuído pela lua". Lobisomens eram pessoas que se transformavam em animais na lua cheia.

Os detalhes da superfície da Lua não podem ser observados sem auxílio óptico. As marcas luminosas ou escuras que delineiam o "homem na lua", a "mulher na lua" ou a "lebre" são regiões de relevo diferente. As áreas brilhantes são cobertas com crateras enquanto que as escuras são planícies de lava; antigamente se achava que estas áreas eram enormes massas de água, sendo por isso chamadas de *maria*, o plùral de *mare*, "mar" em latim.



Em cima: Segundo uma representação do século XIX, a Lua era habitada por homens-morcegos. Ao lado: a Lua era venerada como a deusa da luz do céu noturno.

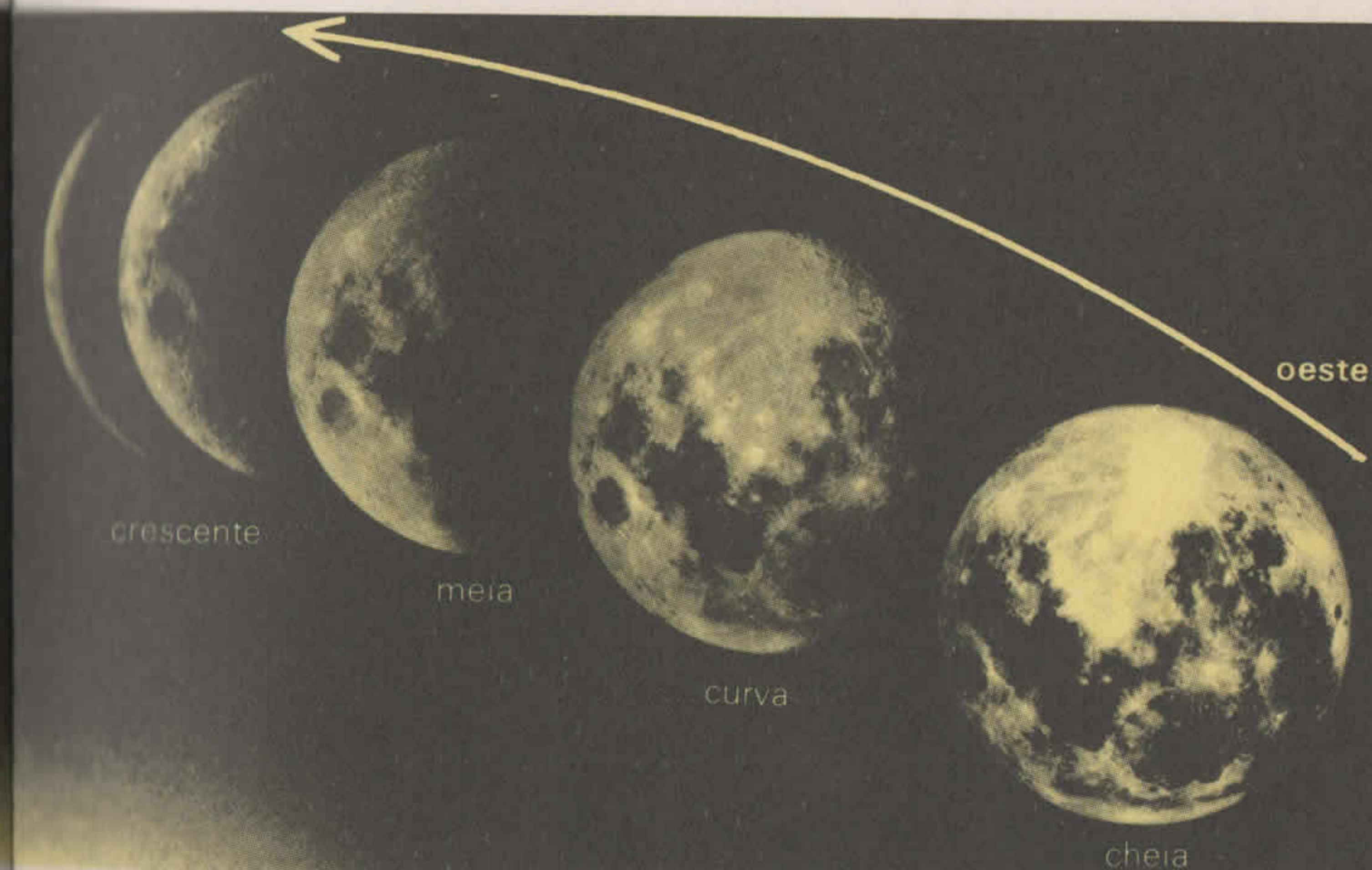




## A Lua Crescente

Na fase nova, a Lua está em conjunção com o Sol. O lado escuro da Lua está voltado para a Terra. Quase sempre a Lua passa ao norte ou ao sul do Sol na fase nova. Nos casos raros em que o Sol e a Lua estão em linha reta com a Terra, a Lua bloqueia a visão do Sol, resultando num eclipse solar.

A Lua avança para o leste e num dia ou dois aparece sobre o horizonte ocidental como um crescente fino na luz do crepúsculo. A idade da Lua é contada a partir da fase nova. Dois dias depois da fase nova, a Lua chama-se crescente de dois dias. Nessa época, a luz do lado iluminado da Terra atinge o lado escuro da Lua e toda a face da Lua brilha com um clarão cinzento suave chamado "reflexo terrestre". A Lua atinge a fase do primeiro quarto cerca de 7 1/2 dias depois da fase nova, com metade da face brilhante em direção da Terra. No hemisfério norte, a Lua estará acima do horizonte sul na fase do primeiro quarto. No hemisfério sul, a Lua será vista ao norte. A Lua de dez dias é curva ou convexa em ambos os lados, com a maior parte de sua face brilhando com a luz do Sol. Quinze dias depois da fase nova, a Lua está em frente do Sol e se levanta no leste no ocaso. Agora todo o lado iluminado fica visível. Com o girar da Terra, a lua cheia nasce, cruza o céu e atinge o horizonte ao amanhecer. A lua nascente e poente parece alaranjada pois a luz que reflete passa pelo clarão do crepúsculo da Terra. A lua cheia também parece cor de cobre durante um eclipse lunar, quando a luz do Sol passa através da atmosfera inferior da Terra antes de chegar na Lua.



## A Lua Minguante

Com quinze dias, a Lua completou metade de seu percurso e está voltando à fase nova. Da fase cheia ao último quarto, a Lua nasce entre o ocaso e meia-noite. A lua minguante atinge o horizonte oriental nas primeiras horas antes do amanhecer. A Lua diminui de tamanho ao continuar sua órbita em direção do Sol.

Poucos dias depois da fase cheia, a lua minguante está acima do horizonte no sudoeste, ao amanhecer. Na Lua, o círculo de iluminação do ocaso — a linha separando o dia da noite — passa lentamente através do lado familiar voltado para a Terra, pois, como a Terra, a Lua está girando em seu eixo para alternar o dia e a noite. A localização da Lua no céu determina a porção do lado lunar iluminado que é visível da Terra. Girando em direção do leste, a Lua atinge o último quarto aos 22 dias. Com o Sol nascendo no leste, o último quarto da Lua estará ao sul para os observadores no hemisfério norte e acima do horizonte norte nas latitudes médias do hemisfério sul.

Com o passar dos dias, a Lua continua seu percurso rumo ao Sol. Agora o círculo de iluminação arqueia em direção do limbo brilhante para formar o último minguante. Outra vez, o reflexo da Terra ilumina as áreas escurecidas, sem sol, da Lua. Como o mesmo lado está sempre voltado para a Terra, o lado mais próximo nunca é tão escuro como o que fica longe, que está sempre afastado de nosso planeta. Com 29 1/2 dias, a Lua passa entre a Terra e o Sol na fase nova. Quando ocorre a conjunção, a idade da Lua é de zero dias e ela fica perdida no clarão do Sol, com o lado voltado para a Terra totalmente na sombra.

Ao lado: A lua crescente, desde a fase nova até a fase cheia. Em cima: A lua minguante, desde a fase cheia até a fase nova.

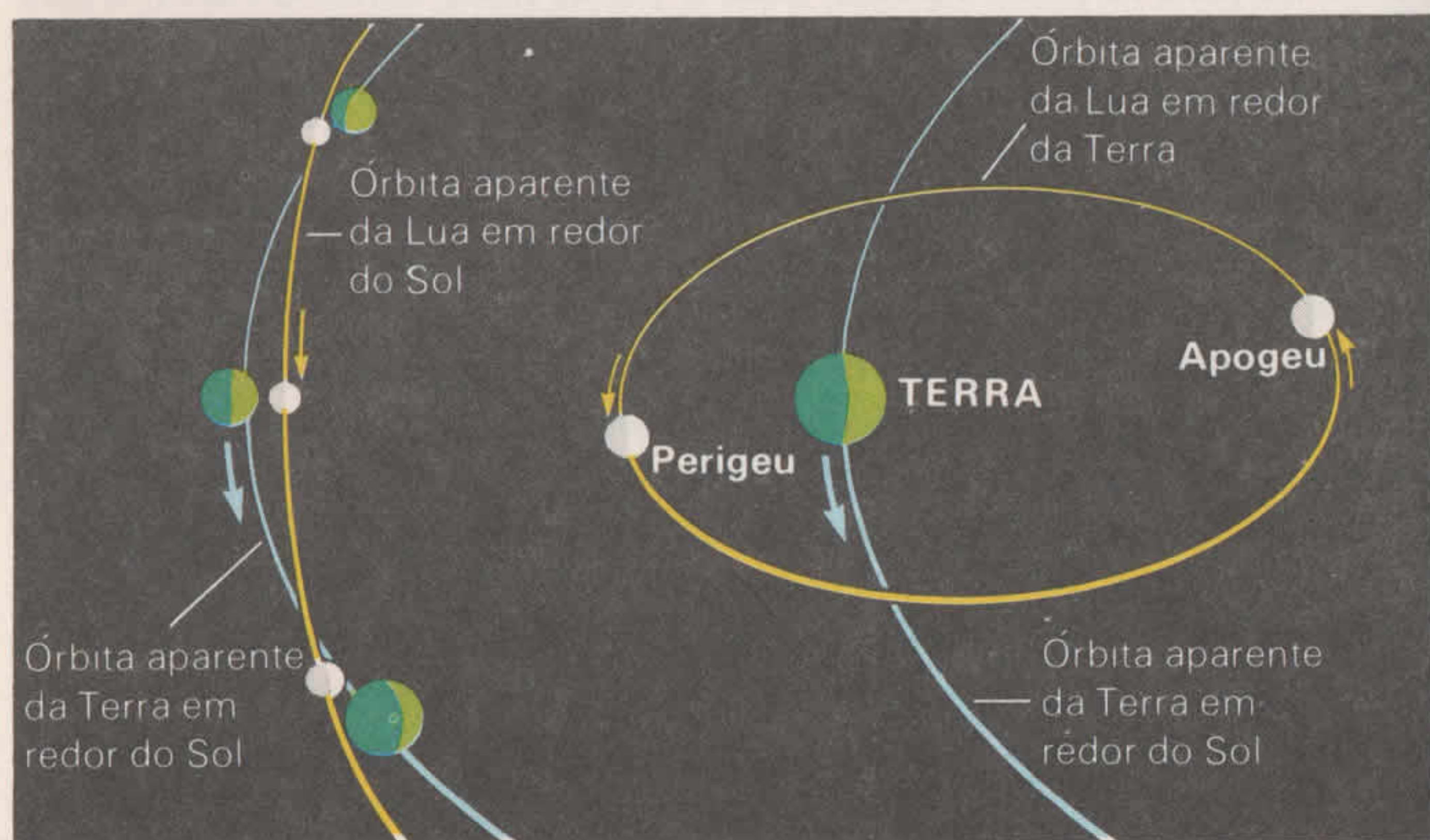


## A Órbita Aparente

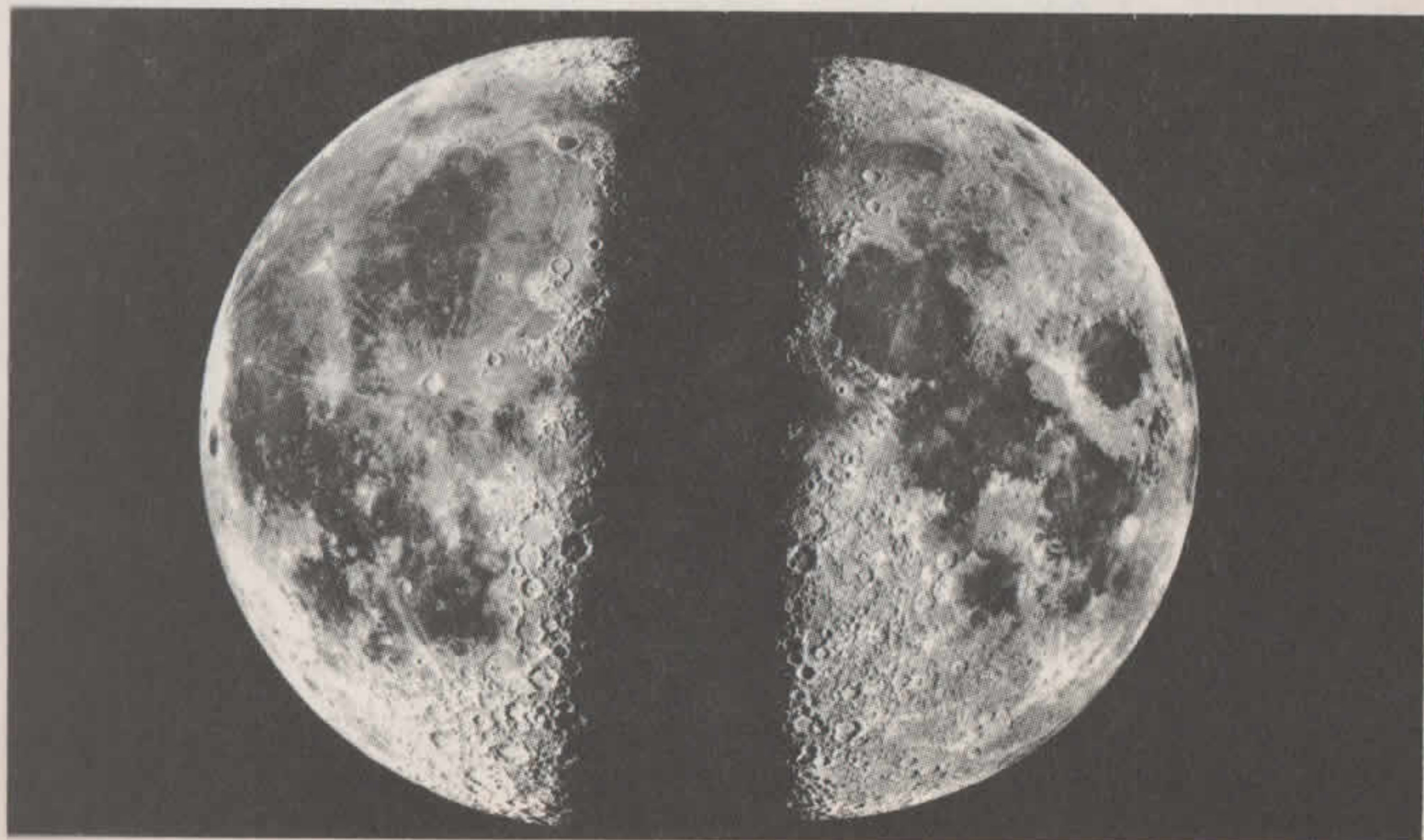
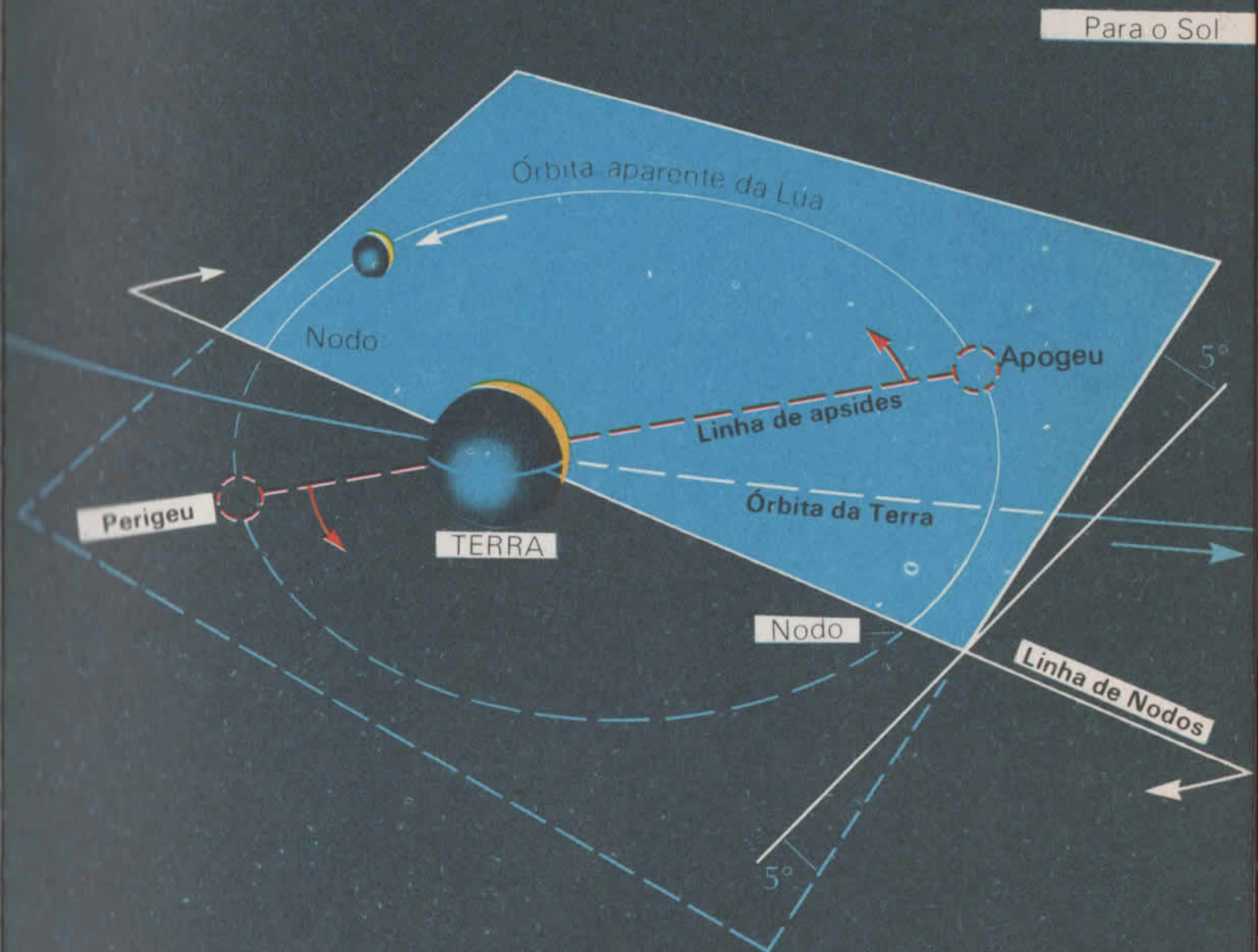
De nosso planeta, a Lua parece girar numa curva elíptica com a Terra parada no espaço num foco dessa elipse. Como sabemos, a Terra gira em sua própria órbita em redor do Sol; assim, a chamada órbita da Lua não é uma curva fechada, pois a Lua não pode voltar para o mesmo ponto no espaço em redor da Terra em movimento. É uma órbita *média aparente*, que muda de forma de mês para mês. Por exemplo, a aproximação maior da Terra pela Lua, chamada *perigeu*, é de 356.300 quilômetros; o *apogeu*, ou a maior distância da Terra, é de 406.600 quilômetros no máximo. Durante o mês, essas distâncias mínima e máxima não são necessariamente atingidas porque o perigeu e o apogeu variam com cada revolução.

A órbita lunar inclinada em relação à eclíptica num ângulo de cinco graus. Os dois pontos de interseção entre a órbita da Lua e o plano da eclíptica são os nodos. A linha de nodos, ligando esses pontos, move-se para o oeste ao longo da eclíptica, fazendo uma revolução num período de 18,6 anos. O eixo maior da órbita elíptica é chamado de *linha de apsides*. Esta linha liga o perigeu e o apogeu. A linha de apsides faz uma volta completa para o leste em cerca de nove anos. Vista de um ponto acima da órbita, a Lua parece girar da esquerda para a direita, do oeste para o leste. A velocidade da órbita varia com a distância entre a Lua e a Terra. Assim, o movimento em direção do leste realizado pela Lua será maior no perigeu do que no apogeu, com uma média de cerca de 13 por dia.

O tempo exigido pela Lua para completar uma revolução em sua órbita e passar por todas as suas fases não é o mesmo. Se a Terra estivesse parada no espaço, uma lunação e uma revolução em redor da Terra seriam semelhantes em duração. Como a Terra também gira, um *mês sideral*, uma vez em redor da Terra, é mais curto em duração do que uma lunação, um *mês sinódico*.

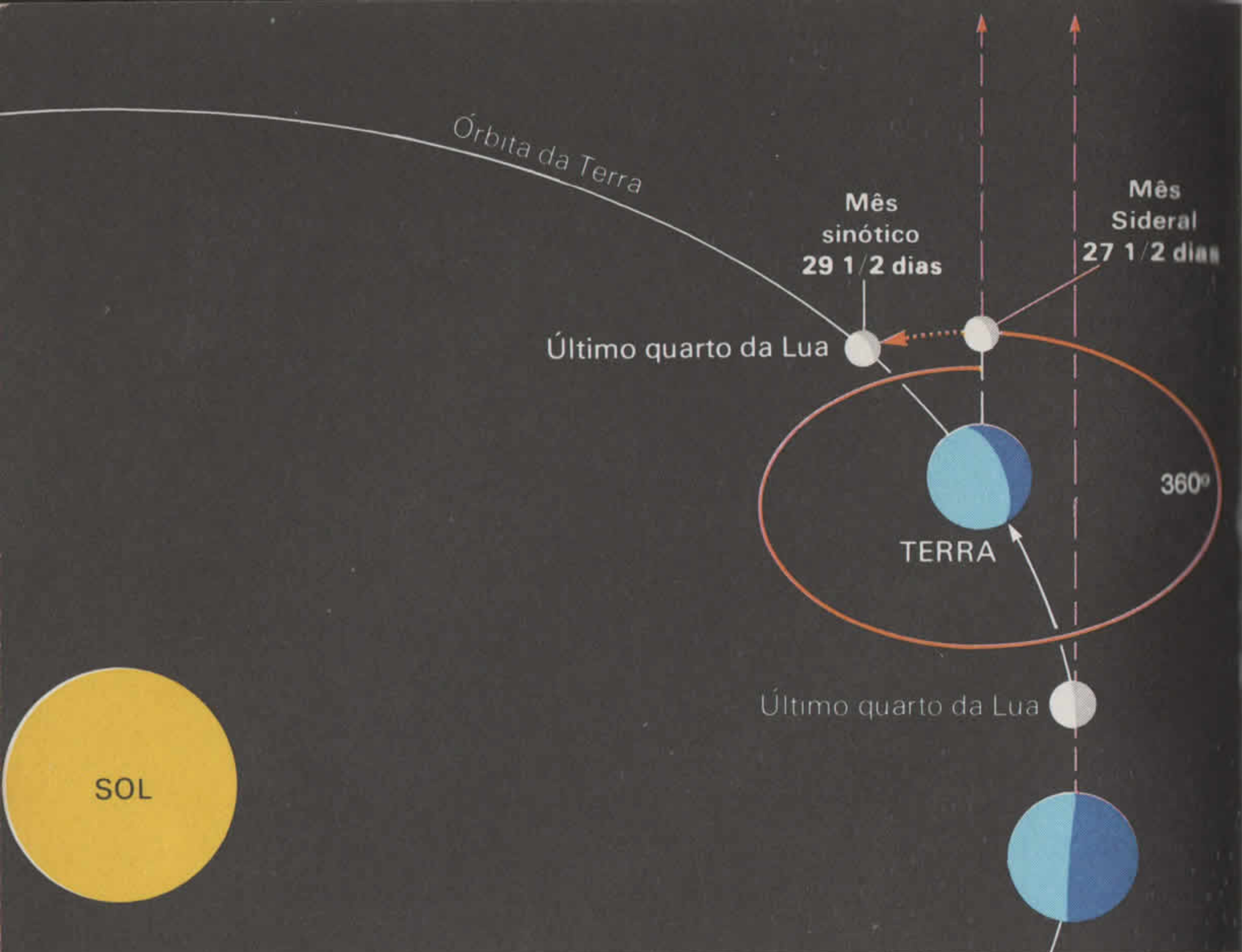






Em cima: A Lua parece maior no perigeu do que no apogeu





## Períodos Sideral e Sinódico

Um *mês sideral* é o intervalo de tempo exigido pela Lua para completar uma revolução e voltar novamente para a mesma posição entre as estrelas. Considerem a Lua e uma estrela cruzando o mesmo meridiano celeste ao mesmo tempo. Na noite seguinte, a Lua terá avançado  $13^\circ$  para o leste e irá passar cerca de 50 minutos mais tarde do que a estrela. Em  $27 \frac{1}{3}$  dias, a Lua e a estrela estarão outra vez alinhadas. Embora a Lua tenha completado  $360^\circ$  e tenha voltado para seu ponto de partida, são necessários mais dois dias de revolução para que atinja a mesma fase. O mês das fases, ou *mês sinódico*, é de  $29 \frac{1}{2}$  dias de duração. Imaginem a Lua do quarto minguante no meridiano, em conjunção com uma estrela brilhante no amanhecer. Cada manhã a Lua aparecerá mais perto do Sol. Na fase nova, a Lua e o Sol estarão em conjunção.

Enquanto a Terra gira em sua órbita, o Sol move-se para o leste cerca de um grau por dia (ver pág. 15) de modo que as estrelas parecerão deslocadas a mesma distância para o oeste. Cada dia, ao amanhecer, a estrela brilhante que estava em conjunção com a Lua estará um grau a mais para o oeste. No fim de um período sideral, a Lua e a estrela estarão em conjunção  $27^\circ$  a oeste do meridiano. Para completar o período sinódico, a Lua deve voltar para o meridiano e para a fase do quarto minguante. Como a Lua gira cerca de  $13^\circ$  por dia, um movimento orbital adicional de dois dias completará o período sinódico de  $29 \frac{1}{2}$  dias.



## Rotação

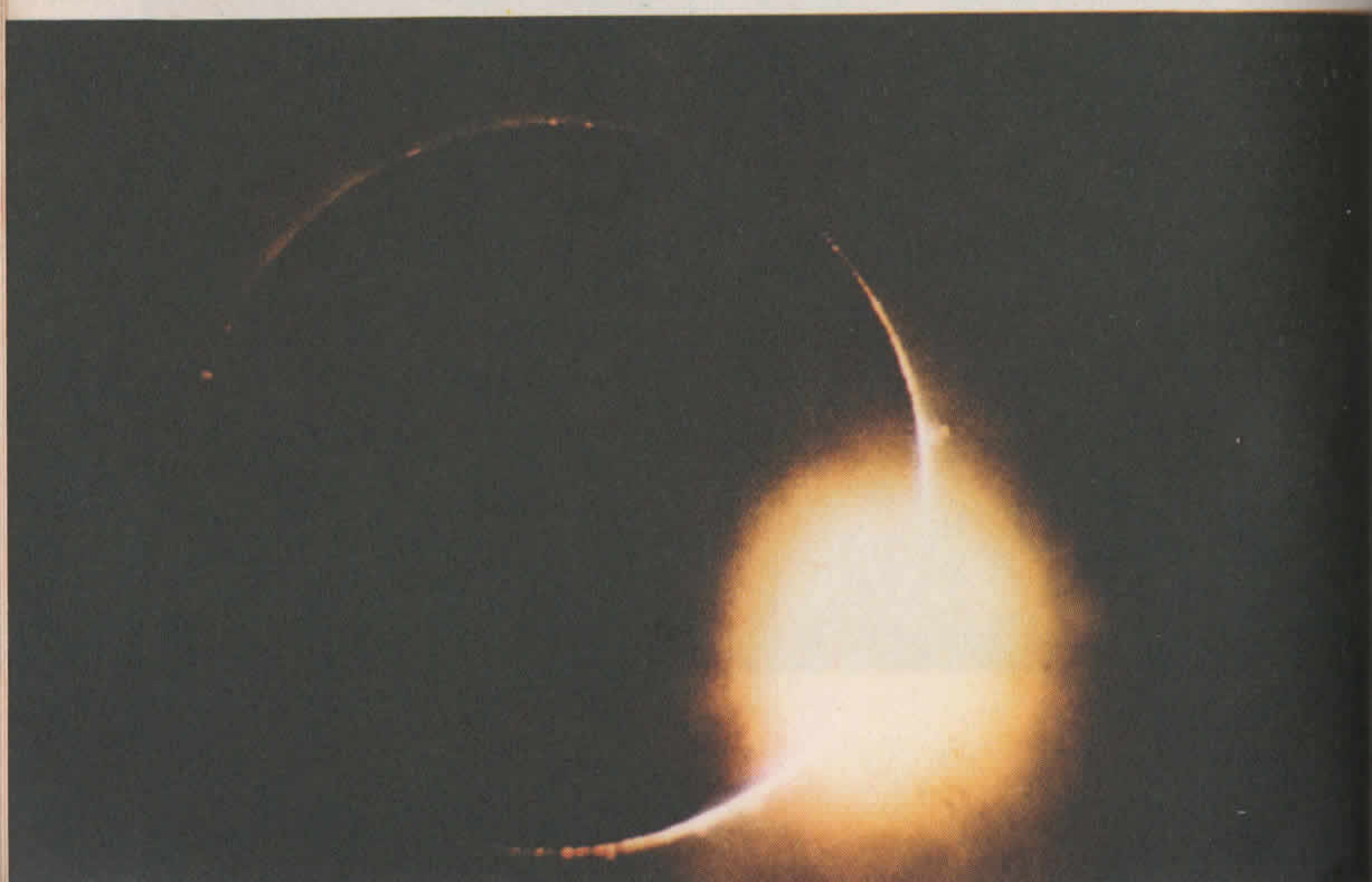
A Lua roda em seu eixo num período de  $27 \frac{1}{3}$  dias, que é igual à sua revolução num mês sideral. Isto se chama *rotação sincrônica* e mantém o mesmo lado da Lua voltado para a Terra. A face familiar do "homem na lua" está sempre voltada para o observador na Terra, mas nunca o lado de trás de sua cabeça. Se a Lua girasse, toda a sua superfície seria visível da Terra durante um mês sideral. Seria mais interessante observar o efeito da rotação sincrônica na Lua do que na Terra. Vistos da Lua, o Sol e as estrelas parecem caminhar lentamente para o oeste, enquanto que a Terra permanece quase parada no céu. O movimento das estrelas do leste para o oeste é causado pela rotação da Lua em seu eixo. Os efeitos combinados da rotação e da revolução mantêm a Terra pairando na mesma posição enquanto passa por fases — como as da Lua que são observadas da Terra — mas em ordem inversa. A Terra mostra um leve deslocamento para o leste e para o oeste, enquanto a Lua acelera entre o apogeu e o perigeu.

Imaginem o Sol e as estrelas no meridiano em conjunção com a Terra. O lado escuro da Terra "nova" está voltado para a Lua. Depois de um período sideral ou de uma rotação, as estrelas voltarão novamente na direção da Terra, no meridiano. Mas o Sol estará  $27 \frac{1}{3}$  a leste do meridiano, da Terra e das estrelas. Esse deslocamento do Sol para leste é causado pela revolução da Lua e da Terra em redor do Sol. Mais dois dias irão se passar antes que o Sol encontre a Terra no meridiano. O Sol e a Terra estão em conjunção num período sinódico. A Terra e as estrelas atingem duas conjunções consecutivas num período sideral.

A Terra crescente vista pela Apollo 17, em órbita em redor da Lua.







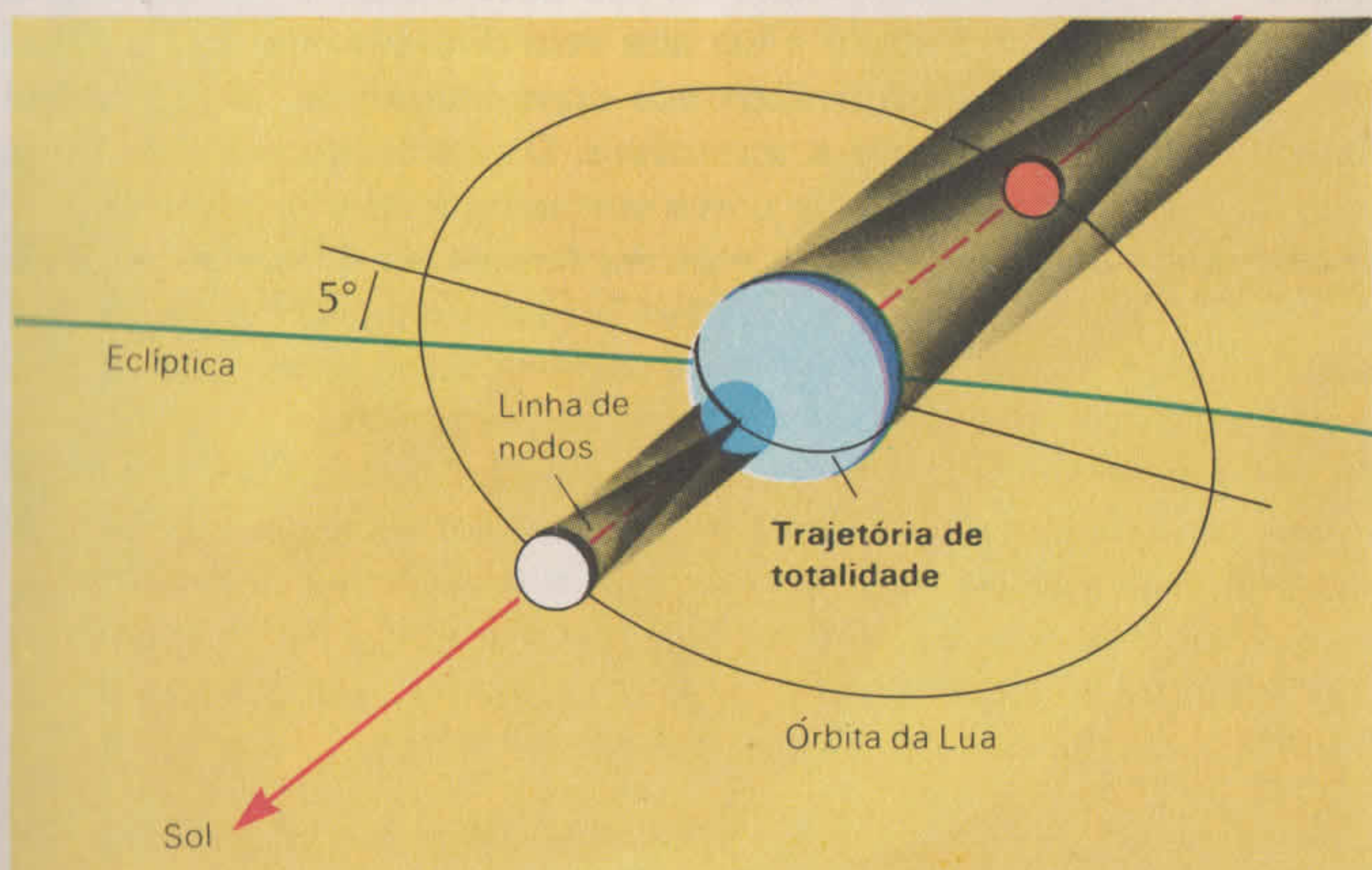


## Eclipse Solar

Talvez o mais espetacular de todos os acontecimentos celestes seja um eclipse do Sol. Nessas ocasiões, a Lua nova passa em frente do Sol e cobre todo o disco. De repente, o céu fica bastante escuro, de modo que as estrelas brilhantes podem ser vistas. A temperatura cai dez ou mais graus e um espectro estranho e lúgubre aparece no céu. Em poucos momentos, o Sol reaparece e tudo volta ao normal. Era uma experiência assustadora para o homem primitivo que achava que um demônio ou um dragão havia consumido o Sol. Ele podia ter levantado os olhos acidentalmente e visto a fase parcial do eclipse já em andamento. Quando o Sol desaparecia, via um buraco escuro rodeado por raios de luz brilhantes, incandescentes, nebulosos.

O disco escuro é o lado obscuro da Lua e o clarão perolado é a *coroa*, que é a atmosfera externa do Sol. A coroa só pode ser vista quando o disco brilhante do Sol fica escondido, artificialmente, por instrumentos como o *coronógrafo* ligado a um telescópio, ou naturalmente, pela Lua durante um eclipse. Os eclipses do Sol são raros e não podem ocorrer mais do que quatro vezes por ano. Nem todos os eclipses são *totais*, com o Sol inteiramente escondido; alguns são *parciais*, quando a Lua nova e o Sol não estão exatamente alinhados com um ponto na Terra e, embora a Lua atinja a conjunção, não pode cobrir toda a face do Sol.

Outro tipo é o *eclipse anular*, quando a Lua está pequena demais para obscurecer o disco inteiro do Sol, que é visto como um anel brilhante. Durante um eclipse anular, a Lua está no apogeu, ou perto dele, apresentando um deslocamento angular menor no céu, e a Terra deve estar perto do ou no periélio — sua aproximação maior do Sol; assim, o Sol terá um deslocamento angular maior do que a Lua. Como o periélio ocorre em janeiro, os eclipses anulares são mais freqüentes nes-



Ao lado: Eclipse total do Sol, mostrando a coroa ou atmosfera exterior; o "anel de diamante" forma-se por um instante, antes e depois do eclipse total.



sa época. Os eclipses totais ocorrem em julho, quando a Terra está no afélio. Não pode ocorrer um eclipse em cada fase da Lua nova porque a órbita da Lua não coincide com o plano eclíptico. Num ângulo de cerca de  $5^\circ$ , a Lua cruza a eclíptica duas vezes por mês em dois pontos chamados nodos. Quando o Sol está num nodo, ou perto dele, na Lua nova, pode ocorrer um eclipse do Sol. Em outras ocasiões, a Lua nova passa acima ou abaixo do Sol.

A Lua lança uma sombra cônica no espaço, oposta ao Sol. Por coincidência, o comprimento da sombra é aproximadamente tão longo quanto a distância entre a Terra e a Lua. Num eclipse total, o vértice da sombra atinge a Terra como um pequeno disco escuro de apenas poucos quilômetros. Enquanto a Terra e a Lua giram em suas órbitas, a sombra traça uma *trajetória de totalidade* exígua sobre a superfície da Terra. O eclipse total só pode ser observado nessa faixa estreita.

## Eclipse Lunar

Todo mundo no lado da noite da Terra pode ver um eclipse lunar ao mesmo tempo. Infelizmente, os eclipses lunares ocorrem menos frequentemente do que os eclipses solares, pois seu número máximo num ano é três. Como a Lua, a Terra projeta uma longa sombra oposta ao Sol. A sombra estende-se por uma distância de mais de 1.290.000 quilômetros. A Lua está a cerca de 402.250 quilômetros da Terra e tem um diâmetro muito menor do que o da sombra da Terra nessa distância, por isso a Lua pode ser eclipsada se estiver num nodo, ou perto dele, na fase cheia.

Como a linha ligando os centros do Sol e da Terra fica no plano eclíptico, o eixo da sombra da Terra permanece nesse plano eclíptico. Quando a Lua está cheia e oposta ao Sol, ela pode entrar na sombra da Terra. Para isto, um dos nodos da Lua deve estar na sombra. Uma vez na sombra, a Lua perderá a luz que vem diretamente do Sol. Mas a Lua não fica escura nem desaparece completamente. A luz do Sol atinge a Terra e passa para a atmosfera. Os comprimentos de onda longos da luz que produzem as cores vermelha e laranja espalham-se pelo ar, colorindo o céu com os matizes familiares do alvorecer e do crepúsculo. A refração transforma essa luz em penumbra, onde atinge a face da Lua. Quando a Lua entra na sombra, toma uma cor de cobre misteriosa, permanecendo assim até sair da penumbra.

Os antigos acreditavam que nessas ocasiões podiam ser previstos acontecimentos horríveis. Stonehenge podia ser considerado um observatório lunissolar na Inglaterra, com a finalidade de determinar as posições do Sol e da Lua durante o decorrer do ano. As posições das pedras podem ter servido como um "computador" para prognosticar os fenômenos terríveis dos eclipses solares e lunares.

Acima: A Lua eclipsada pela sombra da Terra.  
Embaixo: Em Stonehenge podem ser feitas previsões de eclipses solares e lunares, além de observações do Sol no solstício de junho.







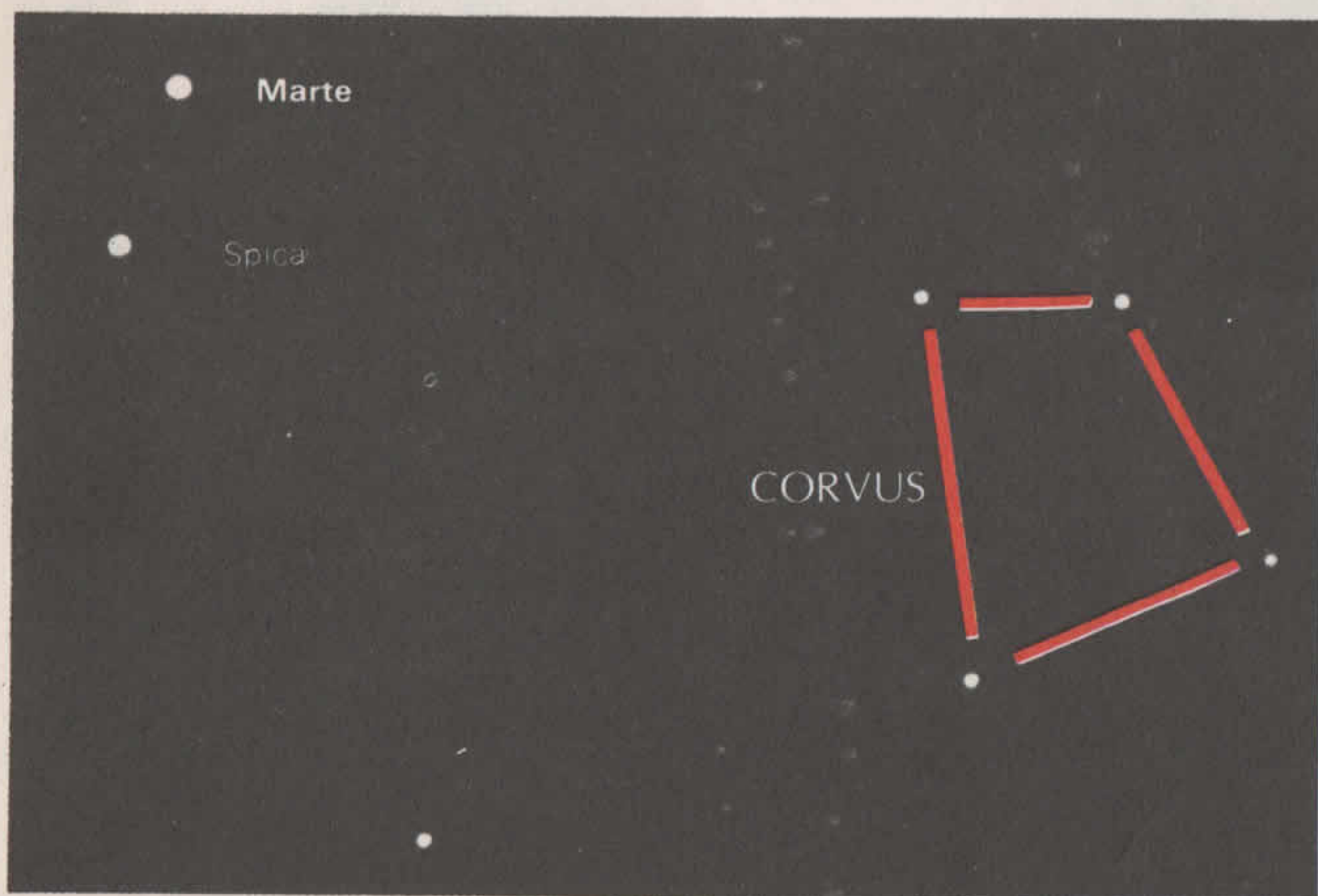
## OS PLANETAS

Os planetas e as estrelas podem ser identificados de várias maneiras. Habitualmente, um planeta aparece como um objeto mais brilhante, reluzindo com uma luz constante entre as estrelas do zodíaco. A luz do Sol refletida pelos planetas atinge a Terra num feixe de raios ou num facho de luz e, por isso, é menos afetada pelo movimento atmosférico do que a luz das estrelas que atravessa num raio único. Os planetas faíscam ou *cintilam* menos do que as estrelas. A maneira mais segura de identificar os planetas é se familiarizar com as configurações de estrelas nas constelações do zodíaco. As órbitas dos planetas seguem a eclíptica e, por isso, eles são vistos entre essas estrelas. Um acréscimo brilhante a um asterismo ou a uma constelação será imediatamente identificado como um planeta.

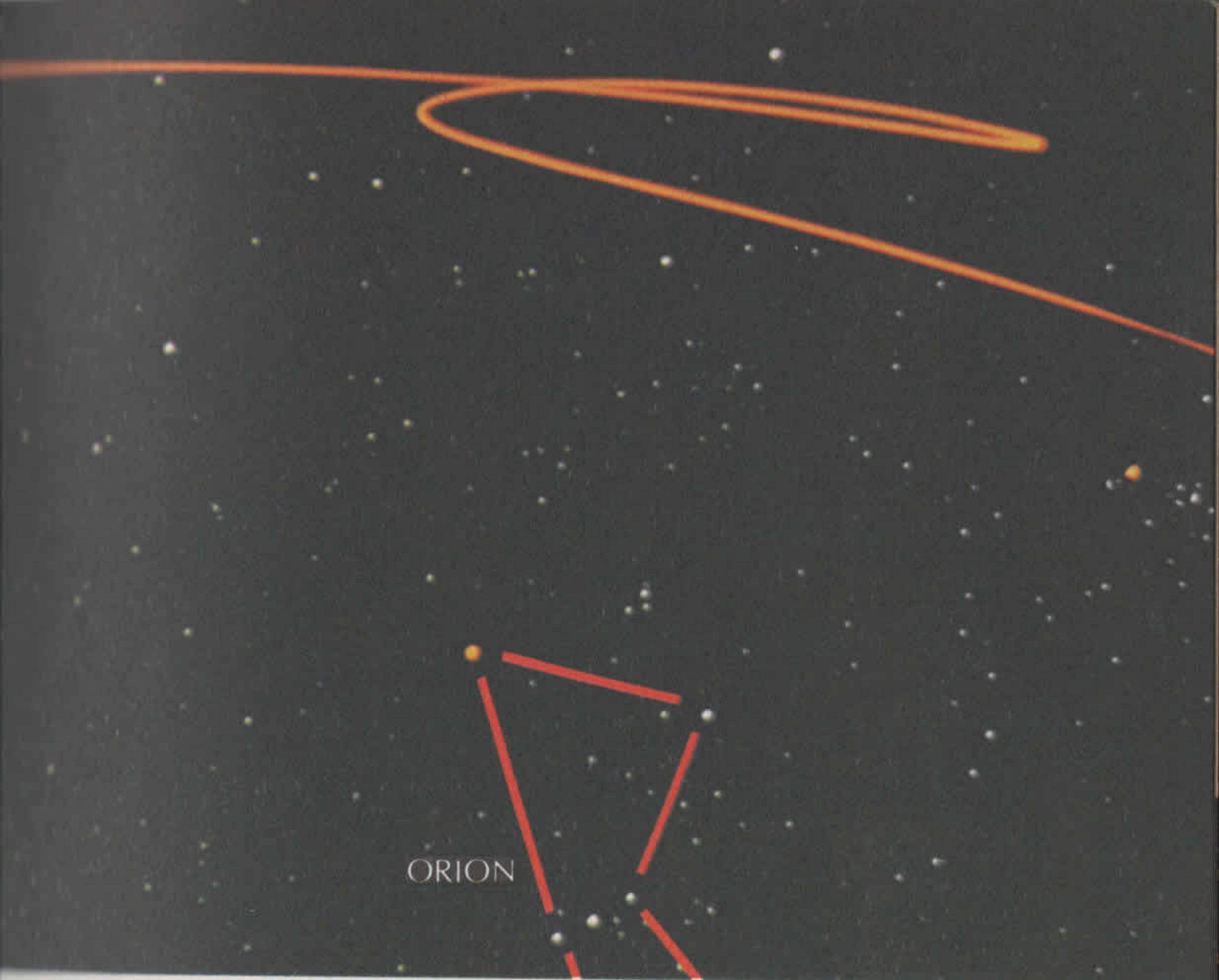
Mercúrio é o mais próximo do Sol e só pode ser observado no amanhecer ou no crepúsculo, como uma estrela da manhã ou do anoitecer de -1,9 de magnitude, um tanto mais luminoso do que Sírius, a estrela mais brilhante. Vênus, o planeta mais brilhante com -4,4 de magnitude, também está entre a Terra e o Sol. No céu, Vênus pode estar até a 47° do Sol e pode ser visto até três horas depois do ocaso.

Marte, Júpiter e Saturno giram em órbitas além da Terra e podem ser vistos durante toda a noite. Marte é laranja-avermelhado e seu brilho é de -2,8 de magnitude em sua maior aproximação da Terra.

Habitualmente o planeta Júpiter, com -2,5 de magnitude, é o mais brilhante do céu. Saturno tem -0,4 de magnitude e é amarelo. Netuno e Plutão são fracos demais para serem vistos sem auxílio óptico. Urano, com + 5,6 de magnitude, é suficientemente brilhante para ser visto a olho nu.







## Movimento Direto e Retrógrado

Os planetas giram da esquerda para a direita em *movimento direto*, do oeste para o leste. Em *oposição*, quando a Terra passa entre um planeta superior e o Sol, o planeta mover-se-á na esfera celeste do leste para o oeste, em *movimento retrógrado*. Depois da oposição, o planeta retoma seu curso para o leste entre as estrelas.

Essas modificações de direção são aparentes e devem-se à velocidade orbital diferencial do planeta e da Terra. O efeito é mais perceptível com Marte, que gira numa órbita mais próxima da Terra do que a dos outros planetas superiores.

Marte necessita de 687 dias, seu *período sideral*, para girar em redor do Sol. O tempo entre duas oposições sucessivas é de cerca de 780 dias, o *período sinódico*. Entre as oposições, Marte está em *conjuncão* no outro lado do sistema solar, com o Sol entre o planeta e a Terra.

Em oposição, Marte fica mais perto da Terra e atinge seu maior brilho. Infelizmente, esse planeta tem uma órbita excêntrica e a distância da oposição varia entre 57.924.000 e 101.367.000 quilômetros. Ocorre uma oposição favorável quando Marte está no *periélio*, ou perto dele, sua maior aproximação do Sol (e, portanto, da Terra). O planeta aparece então como um objeto semelhante a uma estrela alaranjada brilhante, com -2,8 de magnitude.

Ao lado: O planeta Marte perto da estrela Spica, em Virgem.  
Em cima: A trajetória retrógrada de Marte em Touro e Gêmeos.







## A VIA-LÁCTEA

Numa noite límpida e escura, as estrelas parecem numerosas demais para serem contadas. Apesar disto, apenas cerca de 6.000 dos bilhões de estrelas conhecidas podem ser vistas a olho nu. Primeiramente, as estrelas brilhantes atraem a atenção do observador. Depois, um estudo cuidadoso revela estrelas fracas que aparecem e somem de vista. Órion, por exemplo, domina aquele que olha para o céu com as sete estrelas brilhantes que formam o asterismo do Poderoso Caçador. Mas, quando faíscam, podem ser contadas muitas outras estrelas dentro da figura.

Na *Via-láctea*, localiza-se a maior concentração desses pontos fracos de luz, como também muitas estrelas brilhantes. Na verdade, uma faixa de pedras preciosas luminosas acompanha e quase que coincide com a Via-láctea, ao circular pela esfera celeste. A Via-láctea está no plano da *Galáxia*, que é nosso sistema estelar no espaço. Ao primeiro olhar, parece que o Sol e a Terra estão localizados no centro de um enorme agregado plano de estrelas. Por muitos anos, acreditou-se que o Sol ocupava um lugar preferencial no espaço e não foi senão nesse século que a observação confirmou que o centro da Galáxia está na direção de Sagitário, onde a Via-láctea tem um brilho uniforme em toda a sua extensão.

Um passeio pela Via-láctea pode começar no solstício de junho na constelação de Gêmeos, que está perto do *equador galáctico*, a interseção do plano da Galáxia na esfera celeste. Acompanhando o equador galáctico em direção do sudeste, a Via-láctea passa entre Prócion, em Cão Menor, e Betelgeuse, a estrela vermelha brilhante de Órion, até as estrelas fracas de *Monoceros*, o *Unicórnio*. Continuando a sudeste de Sírius, a Estrela do Cão, o plano da Galáxia passa as constelações de Popa, Bússola e Carena, da antiga Argo Navis. Enquanto isto, a Via-láctea torna-se mais brilhante ao se aproximar de *Crux*, o Cruzeiro do Sul. Essa região é interrompida por uma faixa ou uma brecha sombria culminando na nuvem escura perto do Cruzeiro do Sul chamada *saco de Carvão*. Acreditou-se, primeiramente, que as grandes brechas eram regiões dispersas que deixavam ver o espaço vazio além das estrelas. Agora se sabe que essas brechas são vastas nuvens de poeira e de gás.

Continuando pelo equador galáctico, a Via-láctea brilha, atingindo seu esplendor em direção de Escorpião e de Sagitário. Sua estrutura então parece quase caótica e já não segue uma estrutura irregular semelhante a uma bola pontuada das manchas brilhantes. Prosseguindo para o norte, a Via-láctea passa por Águia até Cisne. Aqui são encontradas brechas escuras que lembram o Saco de Carvão do hemisfério sul. Depois de Cisne, a Via-láctea entra nas constelações de Cassiopéia, Perseu, Auriga, voltando novamente para o solstício de junho em Gêmeos.



## OUTROS SISTEMAS ESTELARES

O passeio pela Via-láctea indicou a amplidão do sistema estelar ao qual o Sol pertence. Há, pelo menos, 100 bilhões de estrelas nesse disco extenso que é tão grande que um raio de luz levaria 100.000 anos para cruzá-lo. Quando seu tamanho foi determinado na *volta do século*, os astrônomos acreditavam que a Via-láctea representava o universo inteiro de estrelas numa extensão de espaço infinita. Mas houve outros pontos de vista. No século XVIII, Emmanuel Kant sugeriu que as manchas pálidas de luz como a Galáxia de Andrômeda poderiam ser outros sistemas estelares além da Via-láctea. Chamou-os de *universos-ilhas* num mar vazio.

Uma dessas nebulosas extragalácticas é visível a olho nu. É a Galáxia de Andrômeda que fica na direção do plano da Via-láctea. As estrelas na constelação de Andrômeda são parte de nossa Galáxia e estão apenas na direção do sistema estelar mais distante. A Galáxia de Andrômeda é a única galáxia grande em espiral visível sem um

telescópio. É, sem dúvida, o objeto mais distante visto a olho nu — quase a 3 milhões de anos-luz da Terra. Em outras palavras, a luz agora recebida na Terra deixou o sistema estelar quase que há três milhões de anos. Se a Via-láctea tivesse mais ou menos um quilômetro de diâmetro, a Galáxia de Andrômeda seria outro sistema de estrelas, com duas vezes esse diâmetro, numa distância de 25 quilômetros. Muito mais próximas da Via-láctea estão as Nuvens de Magalhães, de forma irregular. São galáxias satélites mantidas pela atração gravitacional dos bilhões de estrelas de nossa Galáxia.

Mas só os olhos não podem perceber a natureza de objetos distantes. A maior parte do universo permanece invisível. Da Terra, somente o Sol e a Lua e um cometa ocasional revelam sua aparência física. Devemos usar um telescópio para que nossa visão atinja as maravilhas mais distantes no espaço.

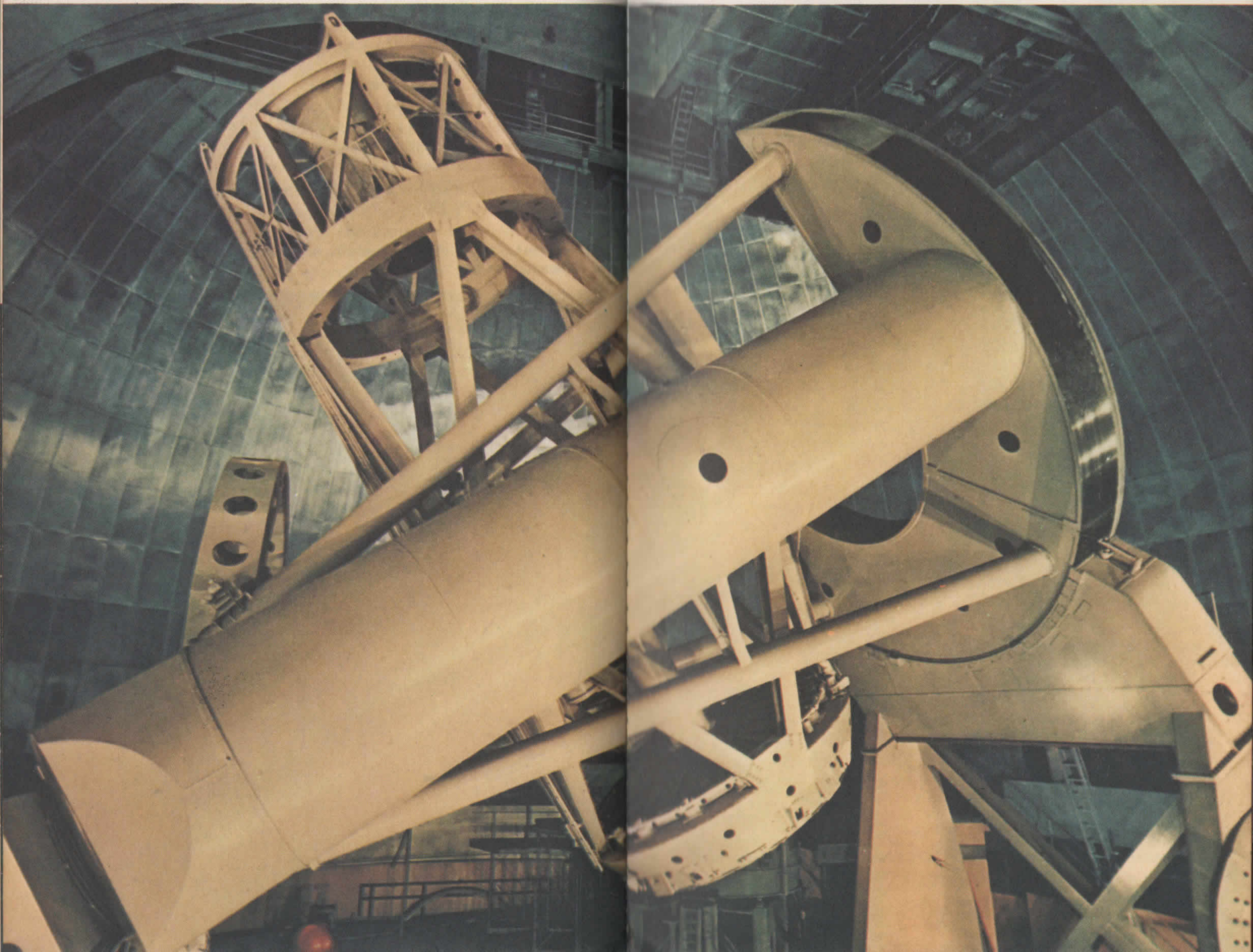
A Grande Galáxia de Andrômeda, M31, é uma espiral enorme com 200 bilhões de estrelas.





## 2ª Parte. Pelo Telescópio

O Telescópio Hale, de 5m, em Monte Palomar (embaixo) é o maior telescópio refletor dos Estados Unidos. O maior telescópio refletor do mundo (5,90m) acha-se na União Soviética.





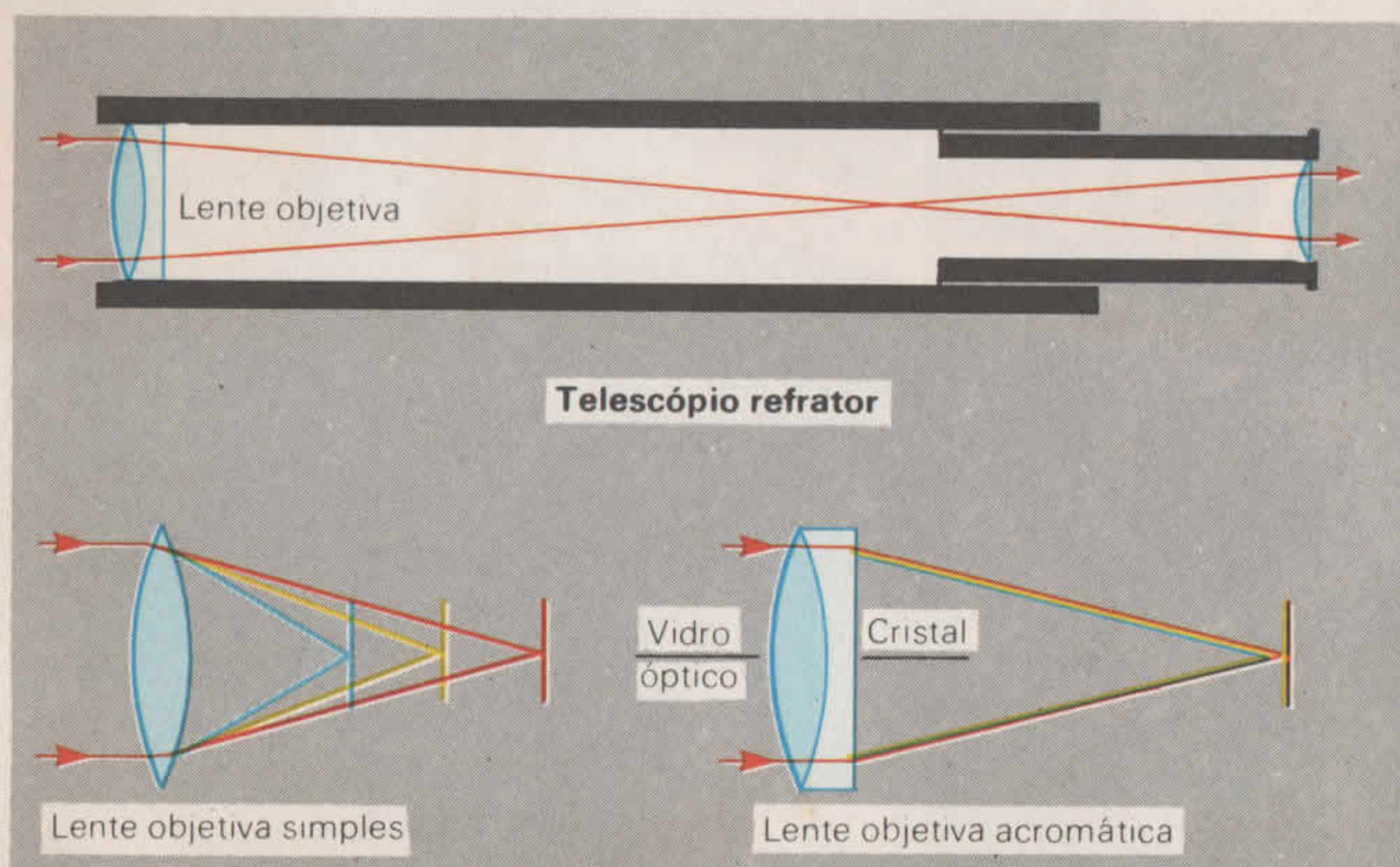
# TELESCÓPIOS

## O Telescópio Refrator

Os telescópios ópticos podem ser de dois tipos básicos, *refratores* e *refletores*. Ambos os tipos concentram a luz num ponto chamado foco. No telescópio, a imagem é formada e ampliada com lentes chamadas *oculares*. Os telescópios refratores e refletores diferem na maneira pela qual a luz é trazida para o foco.

Os primeiros telescópios desenhados no século XVII eram do tipo refrator. Basicamente, esse telescópio consiste numa grande lente chamada *lente objetiva*, pela qual a luz entra no *tubo do telescópio*. A finalidade da lente objetiva é reunir a luz no foco. *O poder de absorção da luz* aumenta ao se ampliar a área da objetiva. Portanto, as lentes objetivas devem ser as maiores possível. O maior telescópio refrator é o do Observatório de Yerkes, com lentes de 1 m. Comparado com um pequeno telescópio amador, a lente de 1 m reúne 400 vezes mais luz do que uma de 5 cm, ou 100 vezes mais luz do que um refrator de 10 cm.

Quando a luz entra no telescópio, a superfície curva da lente faz com que a luz atinja a objetiva num ângulo. Entrando na lente, a luz é *refratada*, ou desviada, como num prisma. A curvatura da lente desvia mais a luz perto da borda do que a luz que entra no centro, levando, assim, os raios para um foco. Contudo, a luz é constituída das sete cores do espectro que se desviam em quantidades diferentes, de modo que uma simples lente objetiva não pode levar a luz para um foco. O problema é resolvido por uma *objetiva acromática* feita com duas lentes de vidro óptico e cristal. Usadas junto, essas lentes diminuem a *aberração cromática*, levando as cores para mais perto de um foco.







## O Telescópio Refletor

O *telescópio refletor* usa um *espelho primário* em lugar de uma lente objetiva. A luz é recolhida num espelho curvo no fundo do telescópio. O espelho é feito com um disco de vidro polido de modo a formar um parabolóide. O vidro é depois revestido com uma película fina de alumínio para produzir a superfície refletora. O parabolóide tem a propriedade de levar os raios paralelos para um foco. Como a luz não foi re-

Em cima: O telescópio refrator de 1m do Observatório de Yerkes, o maior do mundo.



Telescópio Guia

Câmara na área do foco primário

Espelho primário

Telescópio refletor

Foco Cassegrain

Coudé

Foco

fratada, a aberração cromática é eliminada. Outra vantagem é o tamanho: pode-se construir um telescópio refletor, maior do que um refrator, com uma distância focal menor, aumentando assim a abertura e a capacidade de absorção da luz. Há também um aumento de *poder resolutivo*, que é a capacidade de separar distâncias angulares entre estrelas ou galáxias.

Além da vantagem de um registro fotográfico permanente, exposições longas revelam pequenos detalhes que não são visíveis. O astrônomo observa o Sol por um *telescópio guia*, montado no instrumento maior, que tira as fotografias. Embora possa ser inserida uma ocular no foco para a observação visual, os grandes refratores e refletores habitualmente possuem câmaras ligadas ao *foco primário*. Esta é uma das várias possibilidades do versátil telescópio refletor. Usando espelhos adicionais, o *foco Cassegrain* pode tornar a refletir a luz através de um furo no centro do espelho primário, aumentando assim a distância focal e localizando o foco mais convenientemente. O *foco Coudé* permite que a luz seja focalizada para uma sala de observação, onde podem ser usados equipamentos especiais num ambiente controlado.

## Radiotelescópios

A energia irradiada do espaço — *raios cósmicos, raios gama, raios X, ondas ultravioleta, de luz, infravermelhas e de rádio* — cria campos elétricos e magnéticos que propagam ondas eletromagnéticas. A atmosfera da Terra age como um escudo permitindo que somente uma fração desse espectro de radiação atinja a superfície. A atmosfera é

Ao lado: Radiotelescópio de 90m do Observatório Nacional de Radioastronomia, em Greenbank, West Virginia.



transparente para algumas ondas ultravioleta, de luz, infravermelhas e de rádio, dizendo-se então que possui *janelas ópticas* ou *de rádio*. A energia da luz é a mais familiar, pois nossos olhos estão adaptados a seu uso. As outras formas de energia eletromagnética são menos familiares, pois só se tornaram conhecidas neste século: por exemplo, a janela de rádio era desconhecida até o advento da radiodifusão. Em 1931, Jansky descobriu a propagação de rádio da Via-láctea. Ao contrário das ondas de rádio que são transmitidas de uma estação de rádio, essas ondas de rádio não podem ser ouvidas. Na radiodifusão, o som é sobreposto como uma modulação da onda de rádio e essa onda modulada é recolhida pela antena receptora e passada para o receptor, onde é reinterpretada como uma onda sonora. As ondas de rádio reais passam apenas entre o transmissor e o receptor; o resto é circuito eletrônico.

As ondas de rádio são mais longas do que as ondas de luz e por isso requerem instalações muito maiores do que os observatórios ópticos. Num radiotelescópio, que é semelhante a um telescópio óptico refletor, ondas de rádio atingem um enorme "prato" parabolóide, que as reflete para uma antena no foco. Uma corrente é induzida na antena e amplificada num receptor, onde um sintonizador permite a seleção dos comprimentos de onda sob estudo. Esses sinais eletrônicos são gravados por uma caneta movendo-se num cilindro rotatório de papel.



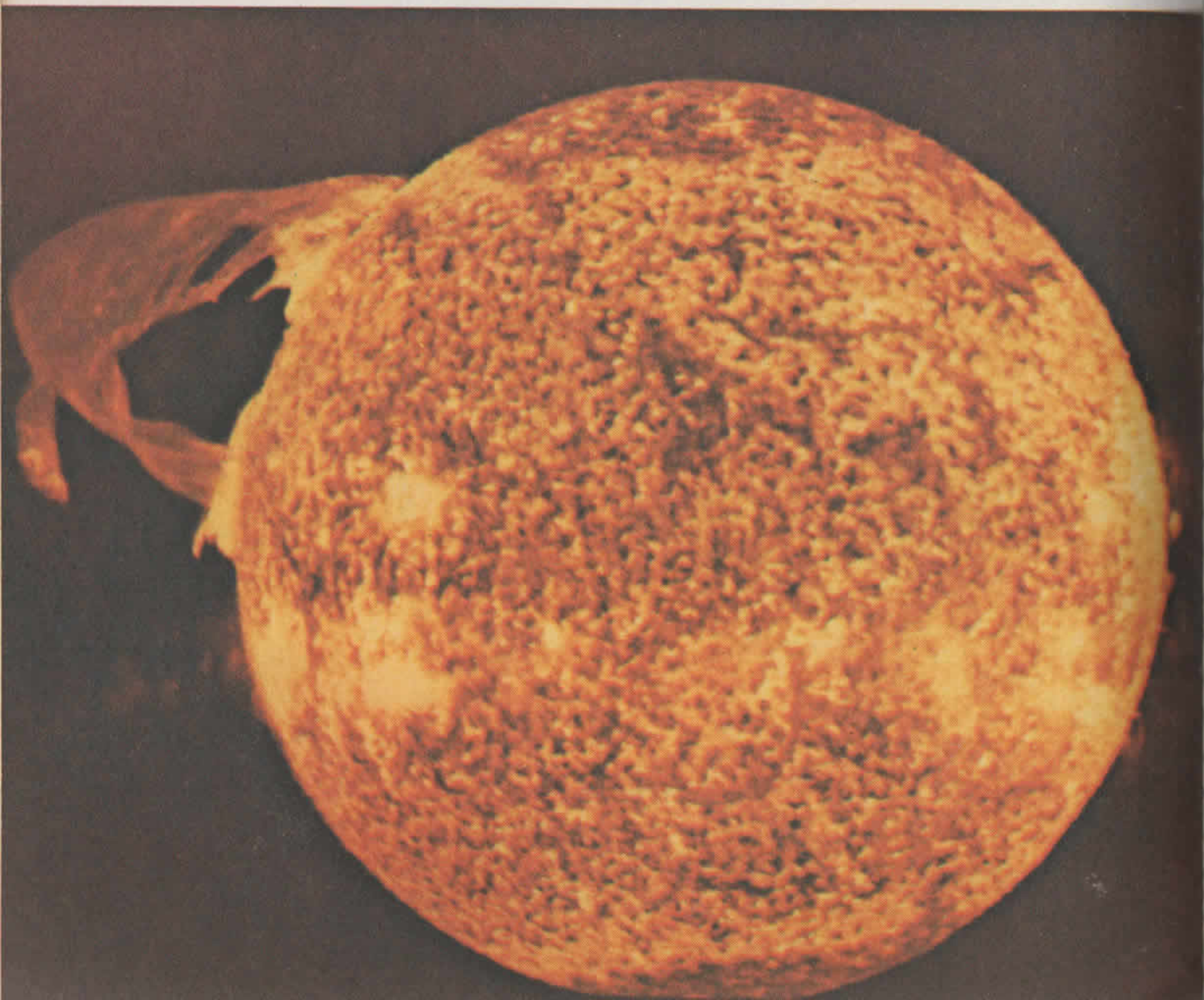


## A ESTRUTURA DO SOL

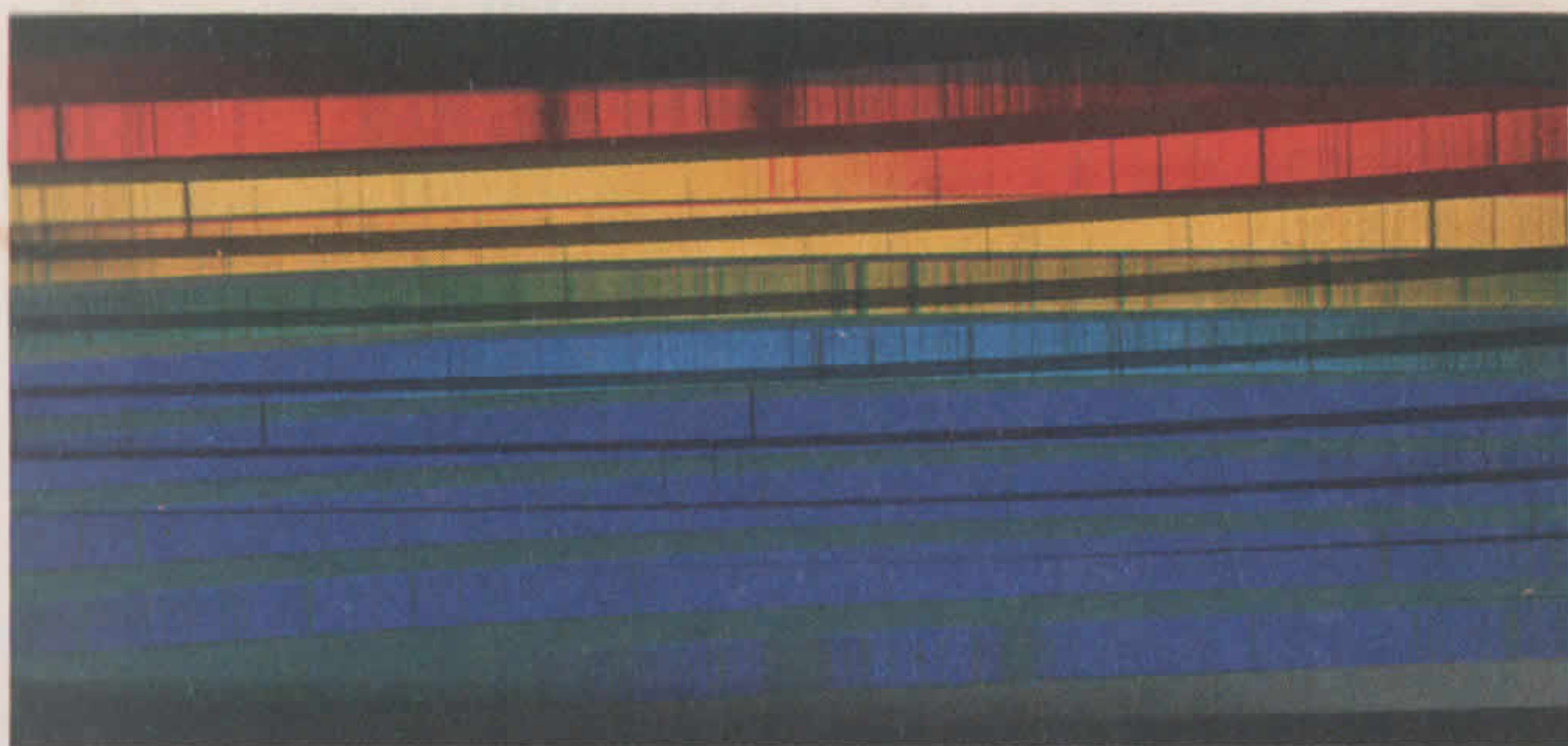
O Sol brilhante, que ofusca a vista, esconde a caldeira em ebulição da atividade que o torna uma estrela. Há cerca de 5 bilhões de anos, o Sol e os planetas condensaram-se de uma nuvem de poeira e de gás. Grande parte da nuvem desapareceu para formar o Sol, com os planetas não sendo mais do que partículas e resíduo da evolução estelar. Como o corpo central mais compacto, o Sol proporciona a ligação gravitacional que mantém a Terra e os outros planetas em suas órbitas. O Sol é imenso, contendo mais de 99% da massa total do sistema solar. Seria necessário mais de 1 milhão de Terras para igualar a massa do Sol; mais de 300 Terras, lado a lado, apenas cercariam sua circunferência.

A região visível do Sol chama-se *fotosfera*, ou a esfera de luz. Nela, a energia que se originou dentro do Sol explode, banhando o sistema solar com radiação. Felizmente, a Terra recebe apenas uma fração da energia total emitida pelo Sol. Na distância em que a Terra se encontra, a radiação que vem do Sol pode ser representada como uma esfera com um raio de 150 milhões de quilômetros. A quantidade de energia interceptada pelo pequeno lado iluminado da Terra é insignificante quando comparada à área total desta esfera de radiação.

O Sol é composto principalmente de hidrogênio e, como o hidrogênio neutro torna o Sol opaco, a fotosfera pode ser observada numa profundidade de apenas algumas centenas de quilômetros. Isto resulta







no *escurecimento do limbo*, pois o brilho do disco do Sol diminui em direção do limbo.

A natureza do interior do Sol é determinada indiretamente por nosso conhecimento das leis físicas do comportamento dos gases, sob alta pressão e sob grande temperatura. No centro, numa temperatura de milhares de graus, o Sol está convertendo seu hidrogênio em hélio pela  *fusão termonuclear*. No processo, algum hidrogênio é transformado em energia radiante, numa média de 4 milhões de toneladas por segundo. Na fotosfera, a energia irradia para o espaço, aquecendo os gases até cerca de 5.000 °C.

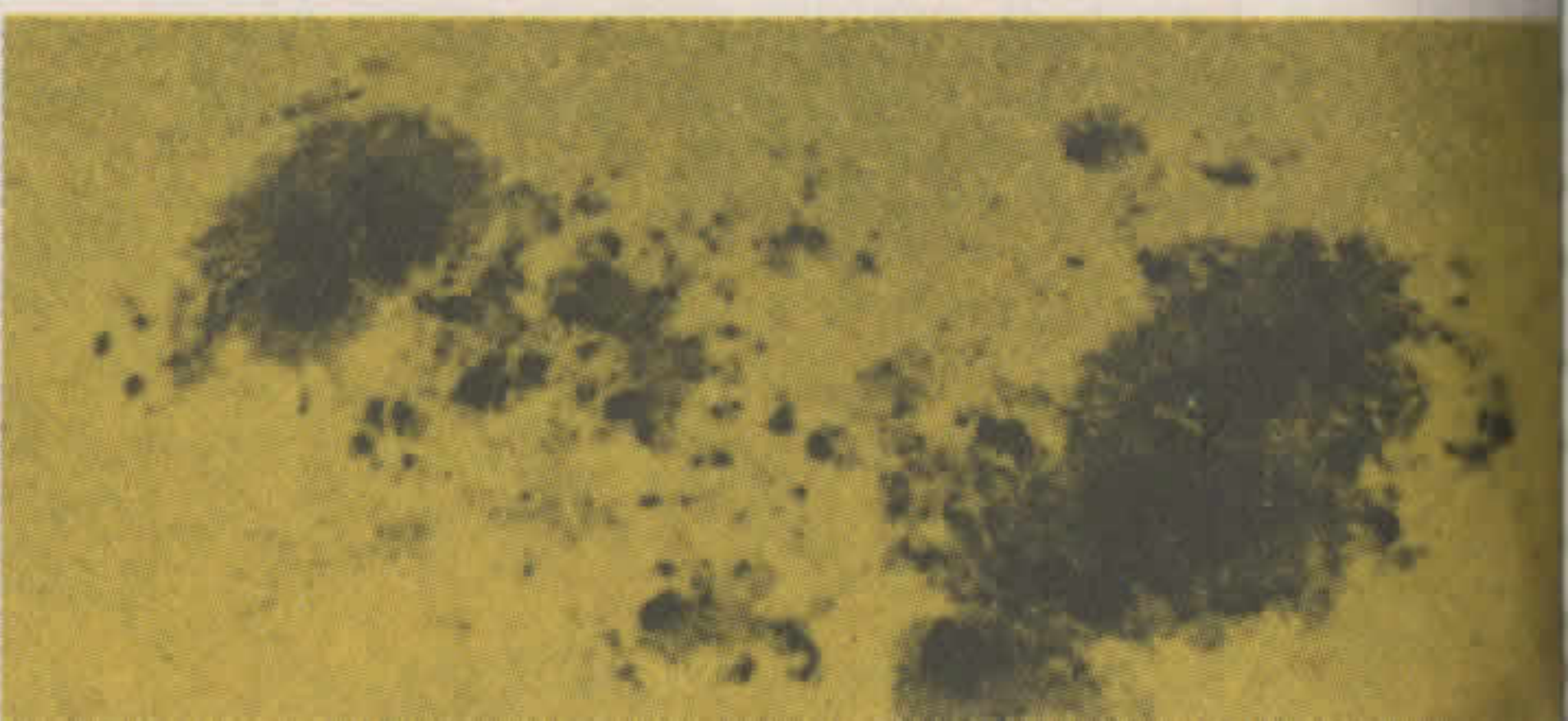
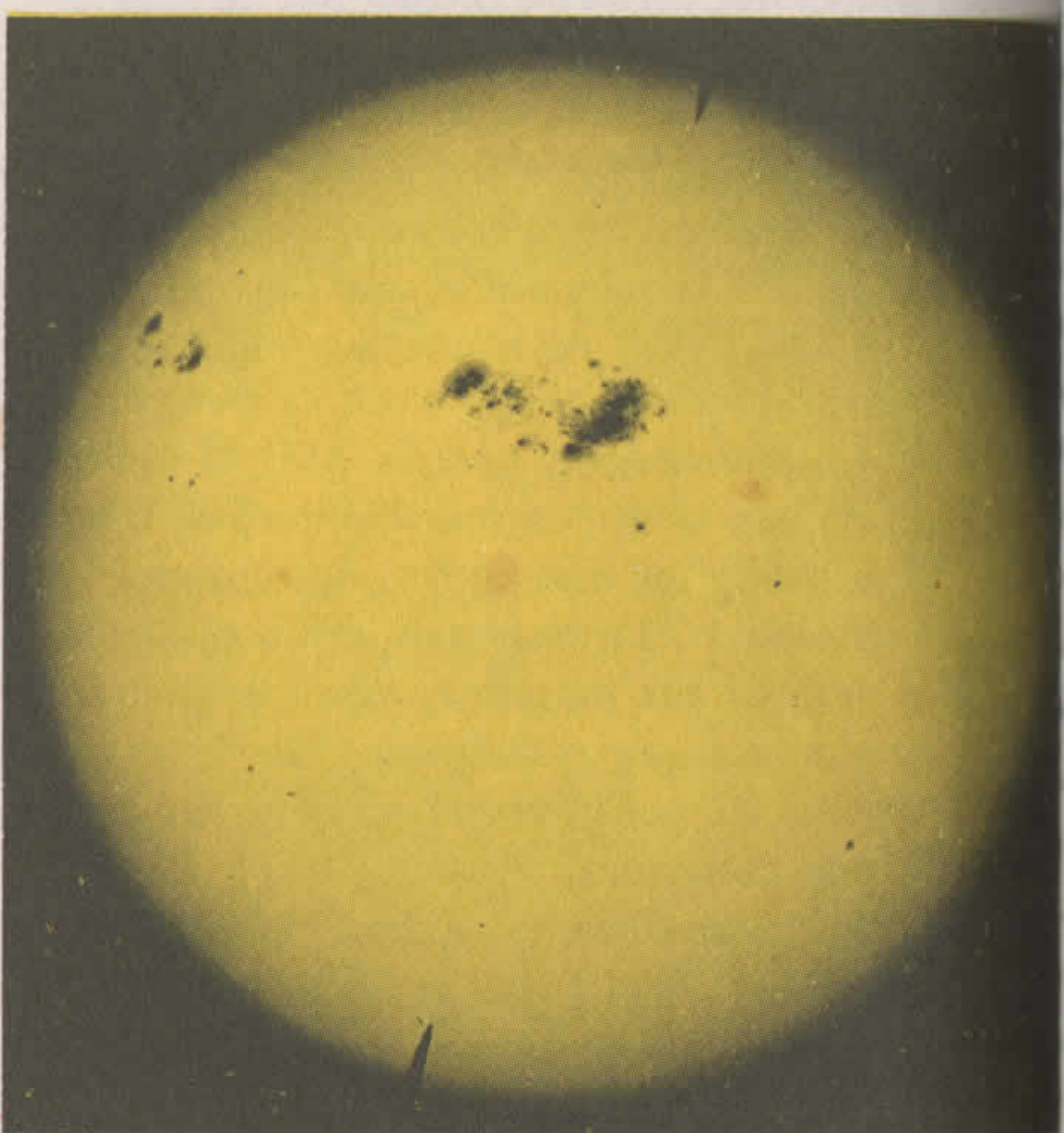
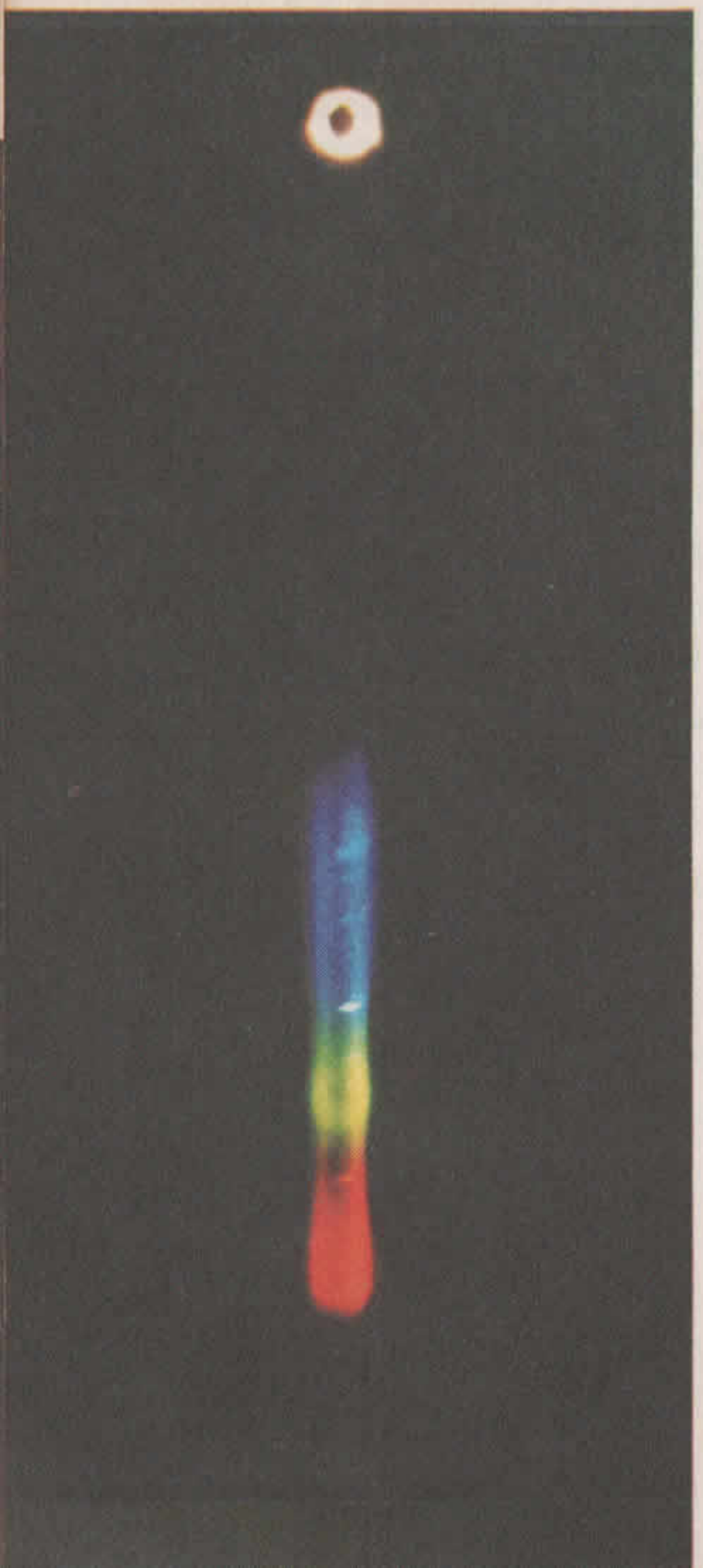
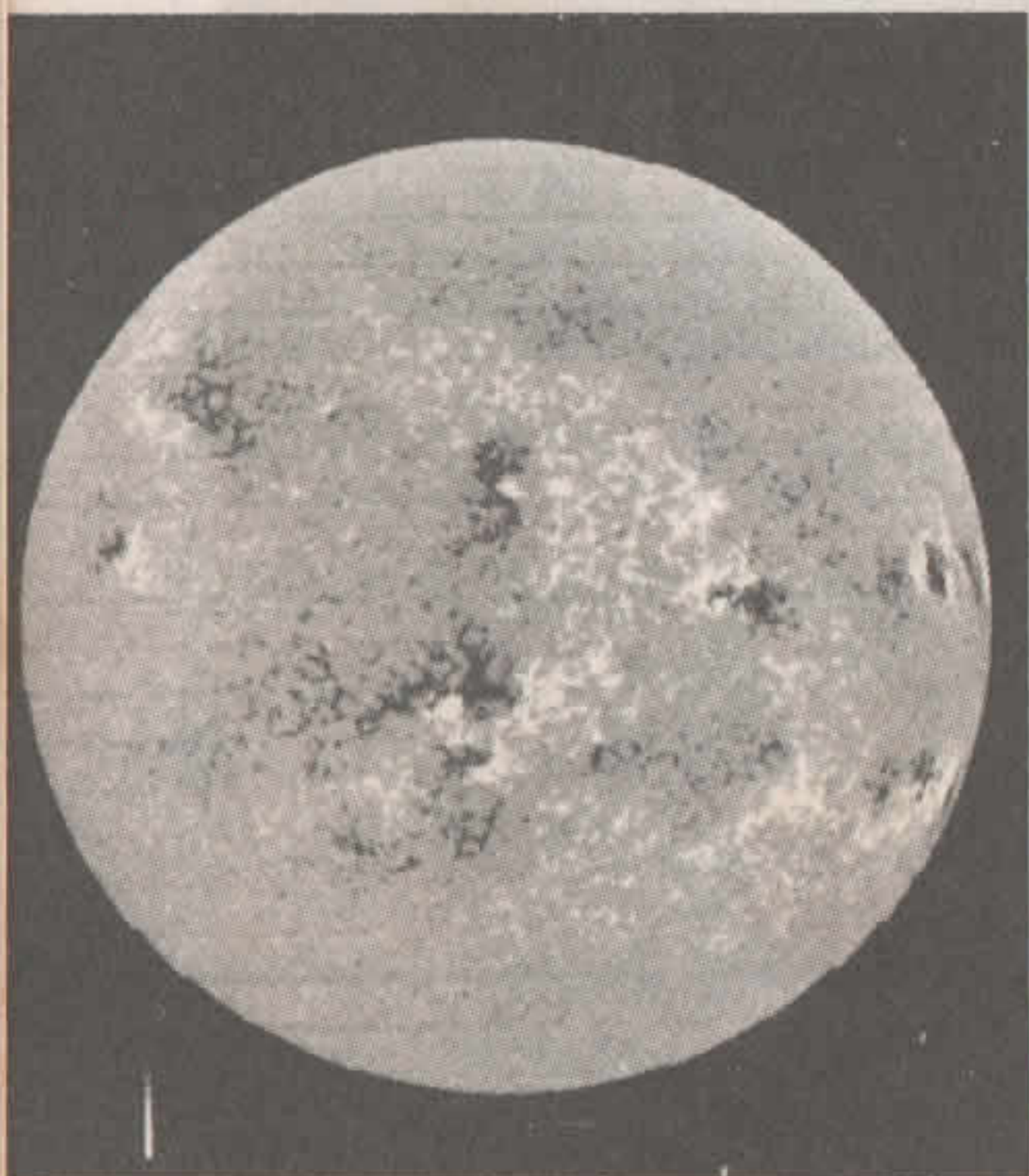
Periodicamente, o aspecto *granulado* da fotosfera é interrompido por sinais escuros chamados *manchas solares*. Essas manchas, que são encontradas em pares de polaridade magnética oposta, são milhares de graus mais frias e parecem escuras contra a brilhante fotosfera. A *umbra*, ou região central da mancha, é mais escura do que a *penumbra* em redor. As manchas solares atingem um número máximo num período médio de 11 anos. O *ciclo das manchas solares* foi descoberto por Schwabe no século XIX. O ciclo começa com uma mancha ou duas nas latitudes médias do Sol. Gradualmente vão se formando novas manchas mais perto do equador celeste até que podem ser vistas mais de 100 manchas, com a maior densidade cerca de 15 ao norte e ao sul do equador. Uma mancha grande pode ser muitas vezes maior do que o diâmetro da Terra. *Fáculas* são "pequenas tochas" brilhantes como chamas, visíveis no limbo escuro, estendendo-se acima da fotosfera.

A *cromosfera*, ou esfera de cor, é a primeira camada da atmosfera do Sol. Embora seja o hidrogênio que faz a região parecer vermelha, também estão presentes outros elementos, como o hélio e o cálcio. De fato, o hélio foi descoberto na cromosfera antes de ser identificado na Terra. A característica mais espetacular da cromosfera são as *protuberâncias*. As *protuberâncias* eruptivas parecem gêisers imensos de matéria solar elevando-se a centenas de milhares de quilômetros no

Ao lado: Labareda solar registrada em 19 de dezembro de 1973, a bordo do Skylab 4, na órbita da Terra. Em cima: O espectro solar identifica a composição do Sol.



Em cima, à esquerda: O Magnetograma do Sol com campos de força associados às manchas solares. Em cima, à direita: Fotosfera e grânulos solares. Embaixo, à esquerda: Podem ser estudadas várias regiões do Sol numa única linha espectral. Embaixo, à direita: As manchas solares são mais frias do que as partes mais brilhantes da fotosfera.







espaço; as *protuberâncias quiescentes* parecem mais estáveis e se estendem até cerca de 50.000 quilômetros.

Antes do uso de instrumentos especiais, a cromosfera e as protuberâncias somente eram visíveis durante um eclipse total do sol, quando a fotosfera brilhante é coberta pela lua. Os *coronógrafos* escondem a fotosfera com anteparos dentro do telescópio, tornando possível a filmagem das protuberâncias.

A atmosfera externa, chamada *coroa*, é vista durante um eclipse total do sol. A *coroa interna* é gasosa e composta de substância solar. A *coroa externa* é formada por pequenas partículas sólidas que refletem a luz do sol. Durante um eclipse, os *raios luminosos* da coroa estendem-se radialmente por vários diâmetros solares.

O *radiossol* estende-se além da coroa e é observado em vários comprimentos de onda com radiotelescópios. Os sinais de onda curta são originados na cromosfera; comprimentos de onda mais longos são detectados acima da coroa. Perturbações como as manchas solares e as *labaredas*, explosões enormes da fotosfera, afetam o radiossol, indicando que a atividade solar está relacionada e se estende às várias camadas do sol.

Em cima: A coroa solar, a atmosfera externa do Sol, tem raios que se estendem por milhões de quilômetros no espaço.



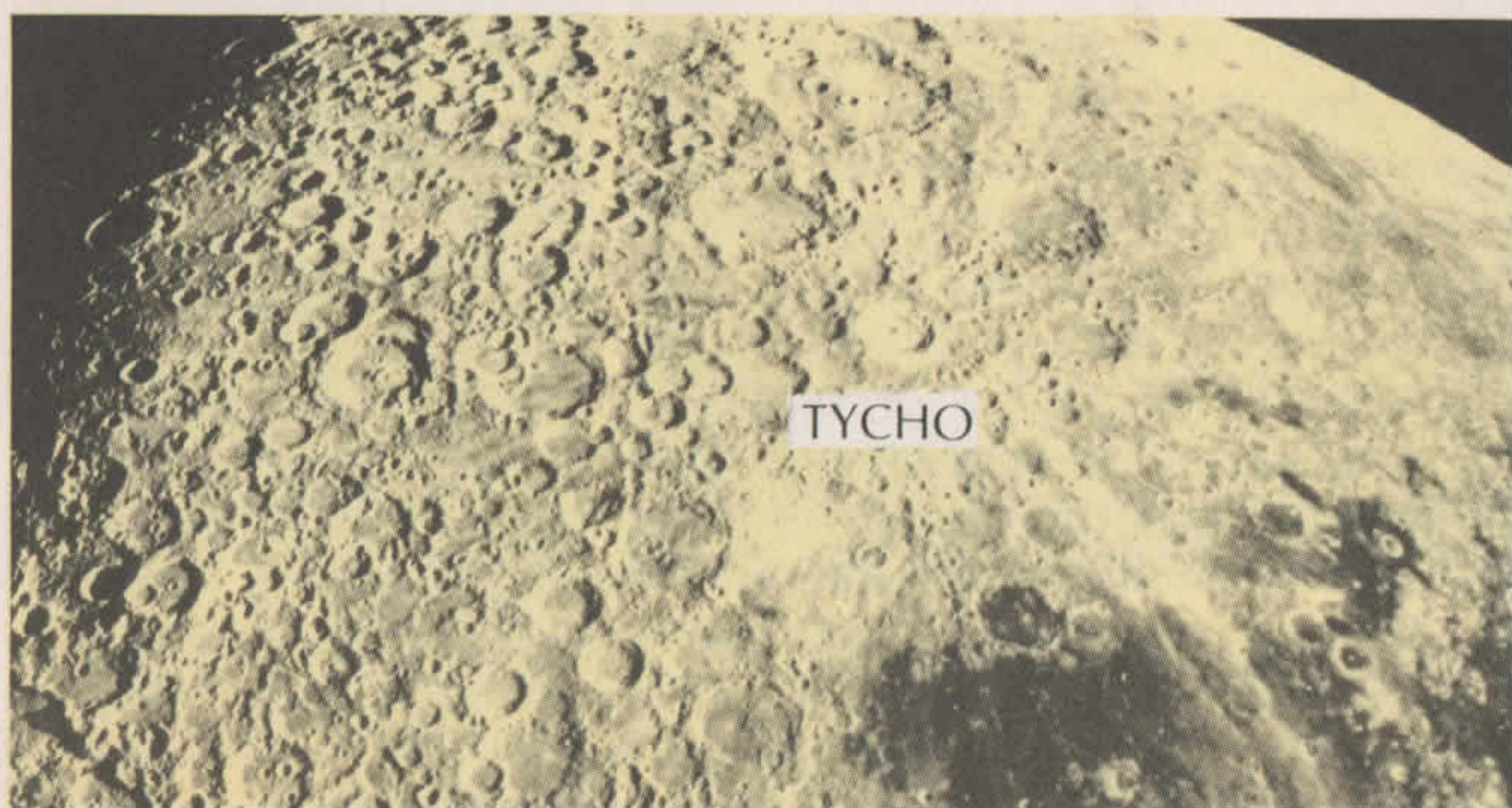
## A FACE DA LUA

Em 1610, Galileu observou a face da Lua com um telescópio. Viu *crateras*, *cadeias de montanhas* e as planícies de lava escura chamadas de *maria*, ou mares. Como o telescópio astronômico inverte a imagem, essas características lunares apareciam "de cabeça para baixo". Algumas das crateras (cujo tamanho varia entre 400 quilômetros e menos de 2 quilômetros) têm o fundo plano assemelhando-se aos mares. Outras crateras são em forma de xícara e parecem discos enormes com picos no centro. As formações maiores são as chamadas *planícies muradas*. As menores são as *pequenas crateras*.

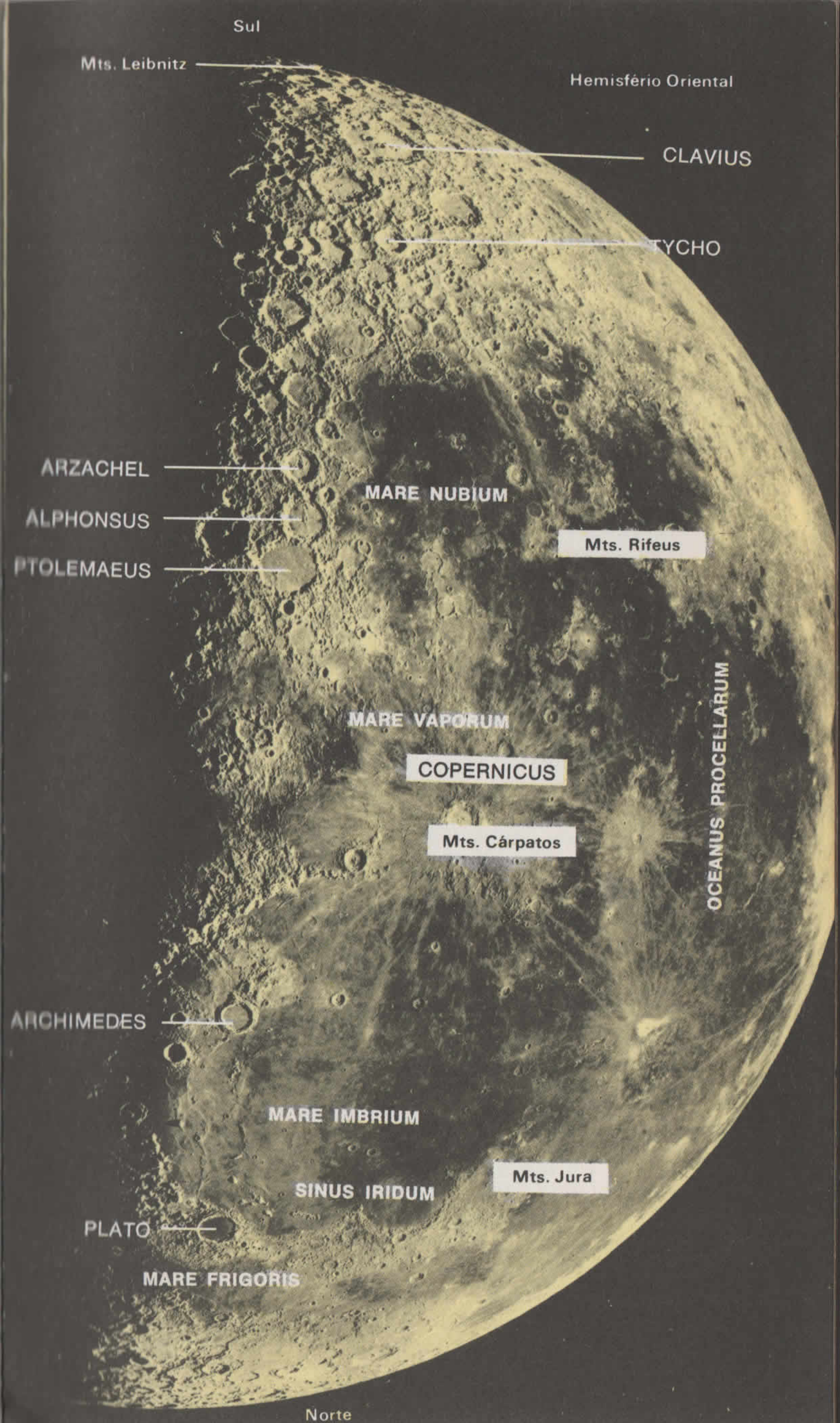
Os mares são mais proeminentes no hemisfério oriental. Em geral, parecem circulares, assemelhando-se às grandes crateras com fundo plano. Os mares são rodeados por cadeias de montanhas, com uma encosta interna abrupta e uma outra externa, em declive suave. O maior mar, o *Oceanus Procellarum*, o *Oceano das Tempestades*, é irregular mas parece ter sido formado por depressões circulares sobrepostas.

As cadeias de montanhas que rodeiam os mares são tão altas como as encontradas na Terra. Há picos isolados levantando-se do fundo dos mares e uma cadeia de montanhas reta. Essas formações parecem ter sido o resultado de inundações de lava num período anterior da história lunar. Os mares se formaram por meio de ondas sucessivas de rocha fundida.

O telescópio mostra fendas, rachas e um vale numa cadeia de montanha. Uma muralha reta levanta-se do solo como uma paliçada lunar. Algumas crateras têm um sistema de raios estendendo-se por muitos quilômetros. Uma cratera em particular, *Tycho*, tem o sistema de raios mais proeminente, que pode ser observado melhor na Lua cheia. As crateras e as cadeias de montanhas são visíveis antes e depois da fase cheia, pois os acidentes lunares projetam pouca sombra durante a Lua cheia, tornando difícil vê-los no clarão da luz refletida.







Sul

Mts. Leibnitz

Hemisfério Oriental

CLAVIUS

TYCHO

ARZACHEL

MARE NUBIUM

ALPHONSUS

Mts. Rifeus

PTOLEMAEUS

MARE VAPORUM

COPERNICUS

Mts. Cárpatos

OCEANUS PROCELLARUM

ARCHIMEDES

MARE IMBRIUM

Mts. Jura

SINUS IRIDUM

PLATO

MARE FRIGORIS

Norte



Hemisfério Ocidental

Sul

Mts. Leibnitz

MARE  
NECTARIS

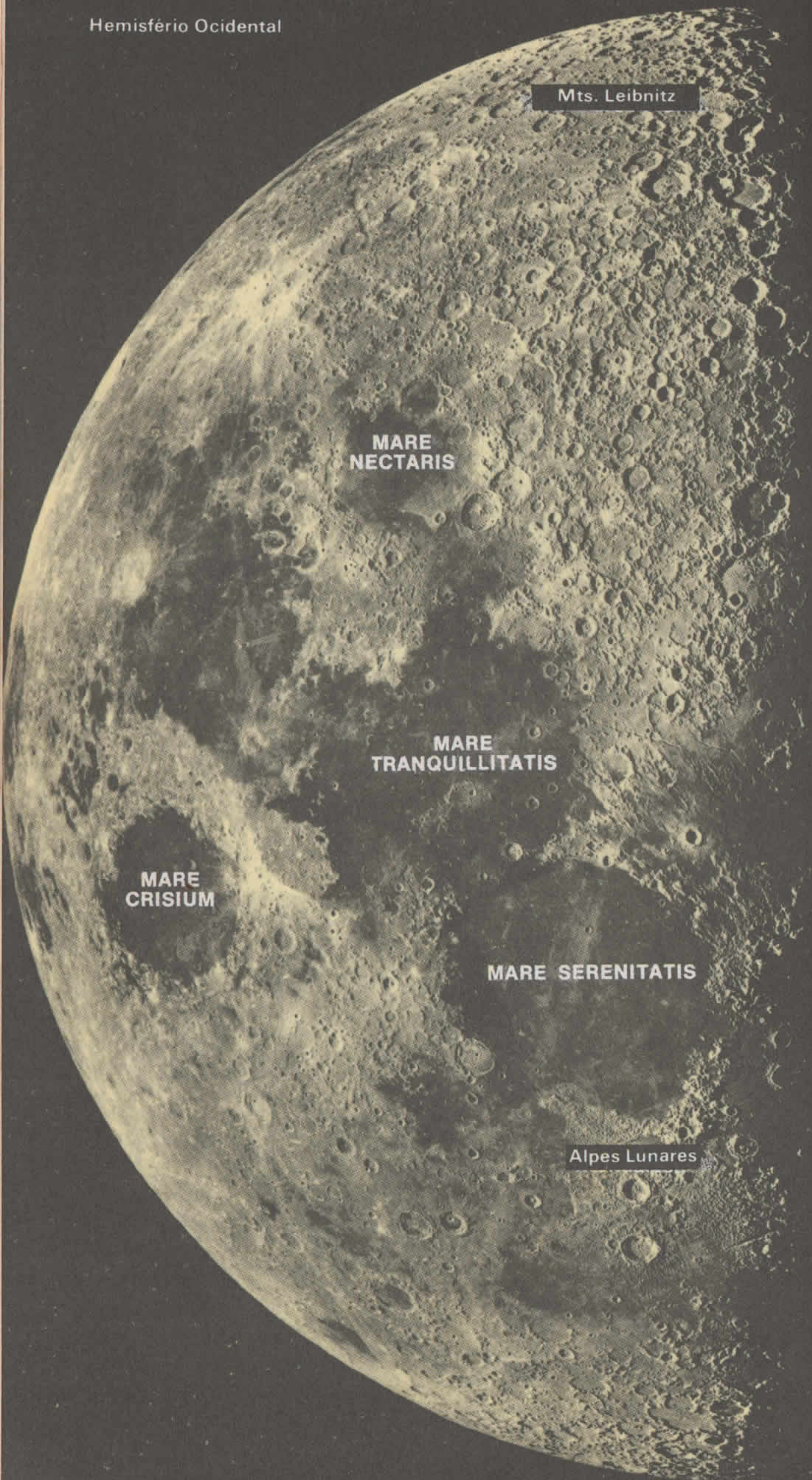
MARE  
TRANQUILLITATIS

MARE  
CRISIUM

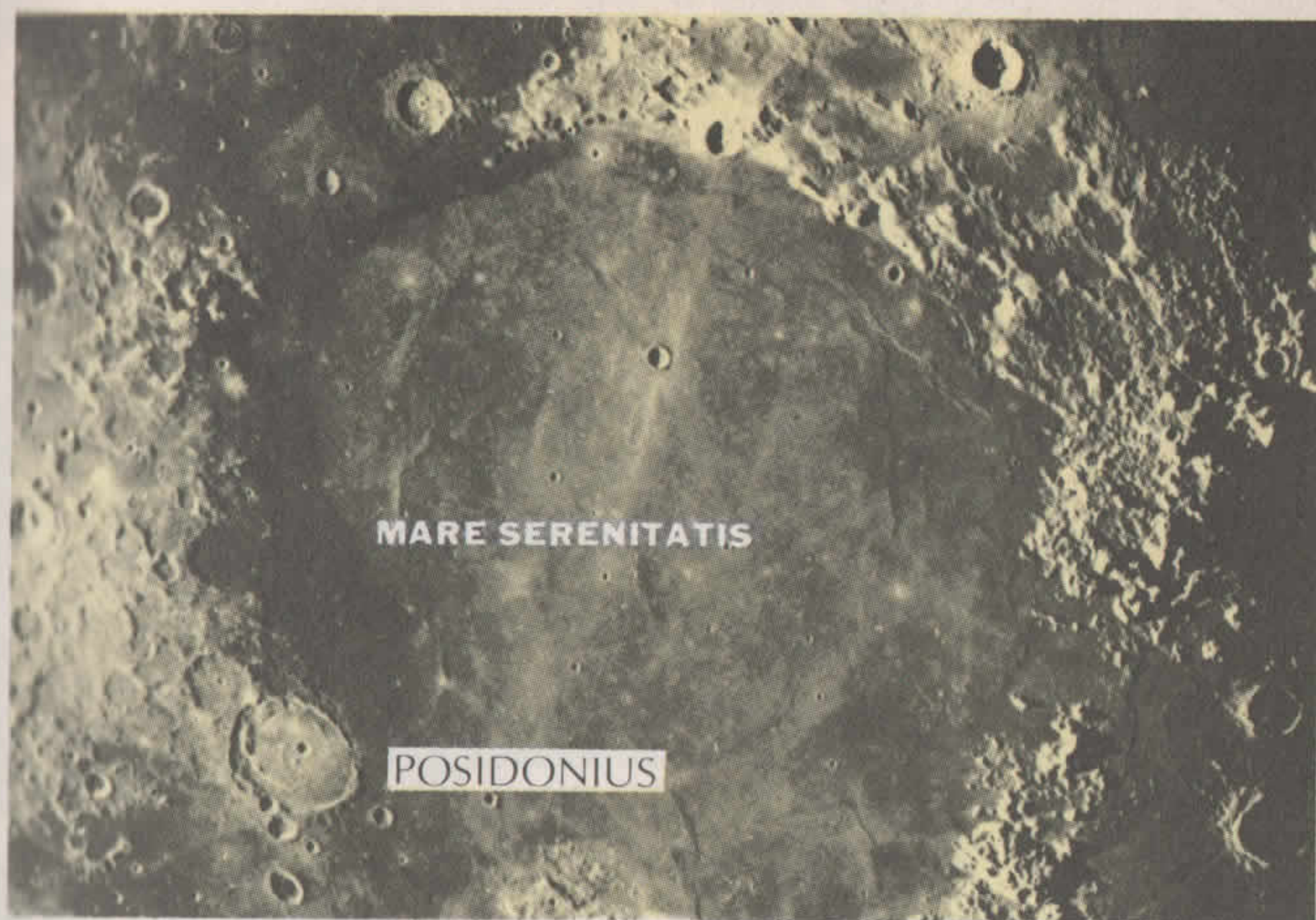
MARE SERENITATIS

Alpes Lunares

Norte







## Os Mares Lunares

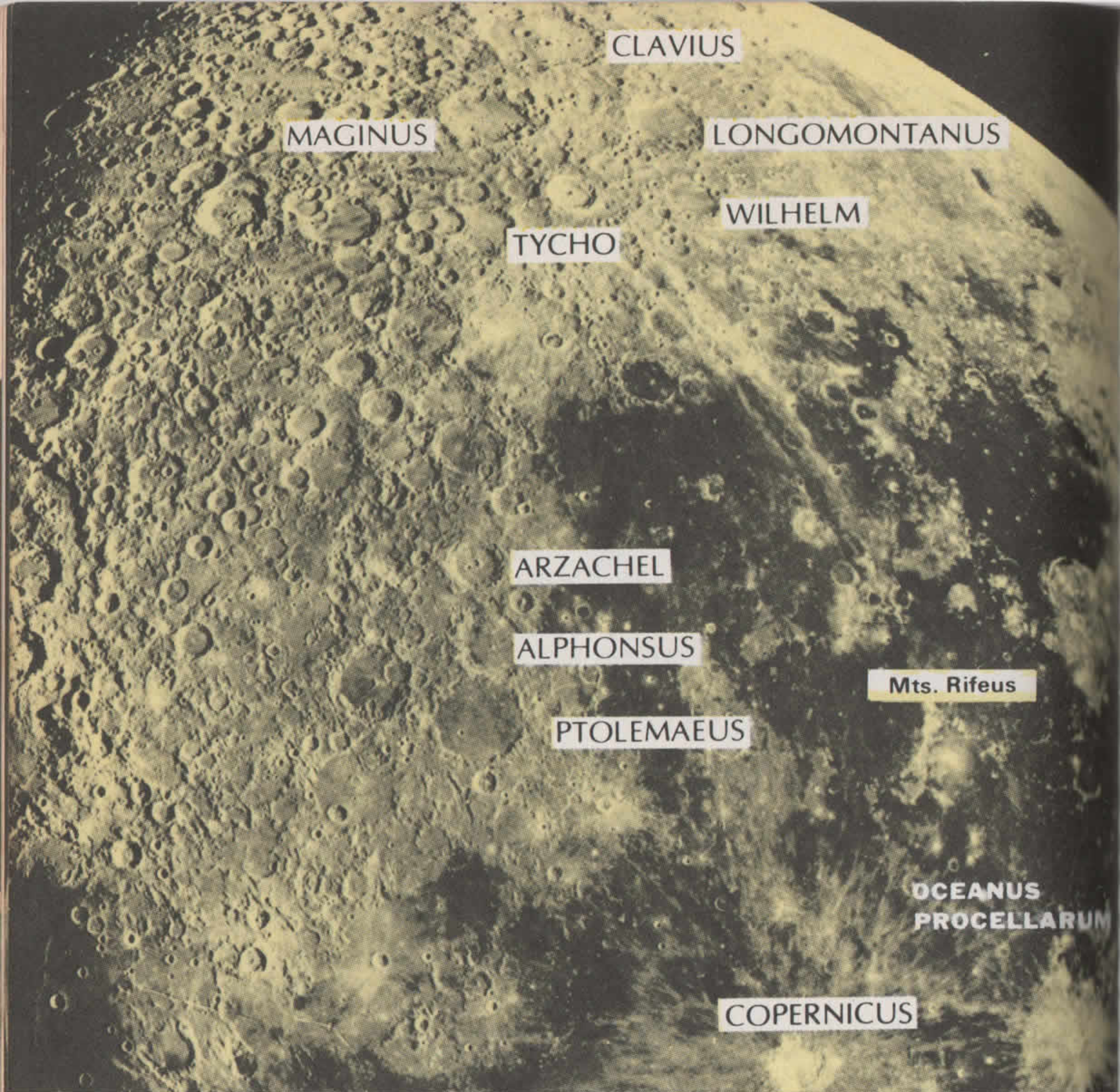
Os mares lunares têm nomes românticos. *Mare Imbrium*, o *Mar das Chuvas*, *Oceanus Procellarum*, o *Oceano das Tempestades*, *Mare Nubium*, o *Mar das Nuvens*, *Mare Vaporum*, o *Mar dos Vapores*, são as planícies do hemisfério ocidental. Nesta metade da Lua, os mares têm nomes referentes à umidade. O tema é o mesmo em configurações menores de mares como *Sinus Iridium*, a *Baía dos Arco-íris*. No hemisfério norte, os nomes refletem calma, como *Mare Tranquilitatis*, o *Mar da Tranqüilidade*, *Mare Serenitatis*, o *Mar da Serenidade*, *Mare Fecunditatis*, o *Mar da Fertilidade*. O padrão é rompido pelo *Mare Crisium*, o *Mar das Crises*, perto do limbo ocidental.

Acredita-se que os mares foram formados pelo magma procedente do interior da Lua. Não se sabe bem como isto aconteceu. Antes da exploração pelos satélites, os astrônomos sugeriram que os mares estavam restritos ao lado mais próximo da Lua. Mais tarde, fotografias do lado mais distante mostraram o predomínio de crateras. Os mares foram formados em inundações sucessivas no período posterior da história da Lua.

Vêem-se crateras submersas, como crateras "fantasmas", delineadas como anéis brilhantes contra o fundo escuro dos mares. As crateras que existiam antes que a superfície dos mares endurecesse aparecem em vários graus de submersão. Outras crateras encontradas nos mares estão completas e se formaram depois que se depositaram as planícies de lava. Algumas dessas crateras estão cercadas por raios de resíduos brilhantes. O telescópio mostra muitas crateras secundárias menores, cercando as formações maiores, indicando um impacto. As fendas nos mares apresentam um desenho radial, sugerindo que blocos enormes atingiram a Lua, formando essas planícies.

Ao lado, o hemisfério ocidental da Lua no quarto crescente. Em cima: Crateras formadas por impacto cobrem o solo do *Mare Serenitatis*.





## As Crateras

As crateras são as coisas mais impressionantes na Lua. O telescópio revela uma complexidade de detalhes caóticos, especialmente nas regiões montanhosas onde as crateras são mais numerosas. As crateras receberam os nomes de cientistas e filósofos famosos, enquanto que as montanhas foram denominadas segundo as cordilheiras da Terra. *Platão* (Plato) está localizada na cadeia de montanhas chamada *Alpes*, na margem norte do *Mare Imbrium*, e *Arquimedes* (Archimedes) acha-se no *Mare Imbrium*, perto dos Apeninos. Essas duas crateras são parecidas, mas a diferença na coloração do solo é óbvia; o solo do *Mare Imbrium* é escuro perto de Platão e dos Alpes e muito mais claro e mais elevado perto de Arquimedes e dos Apeninos.

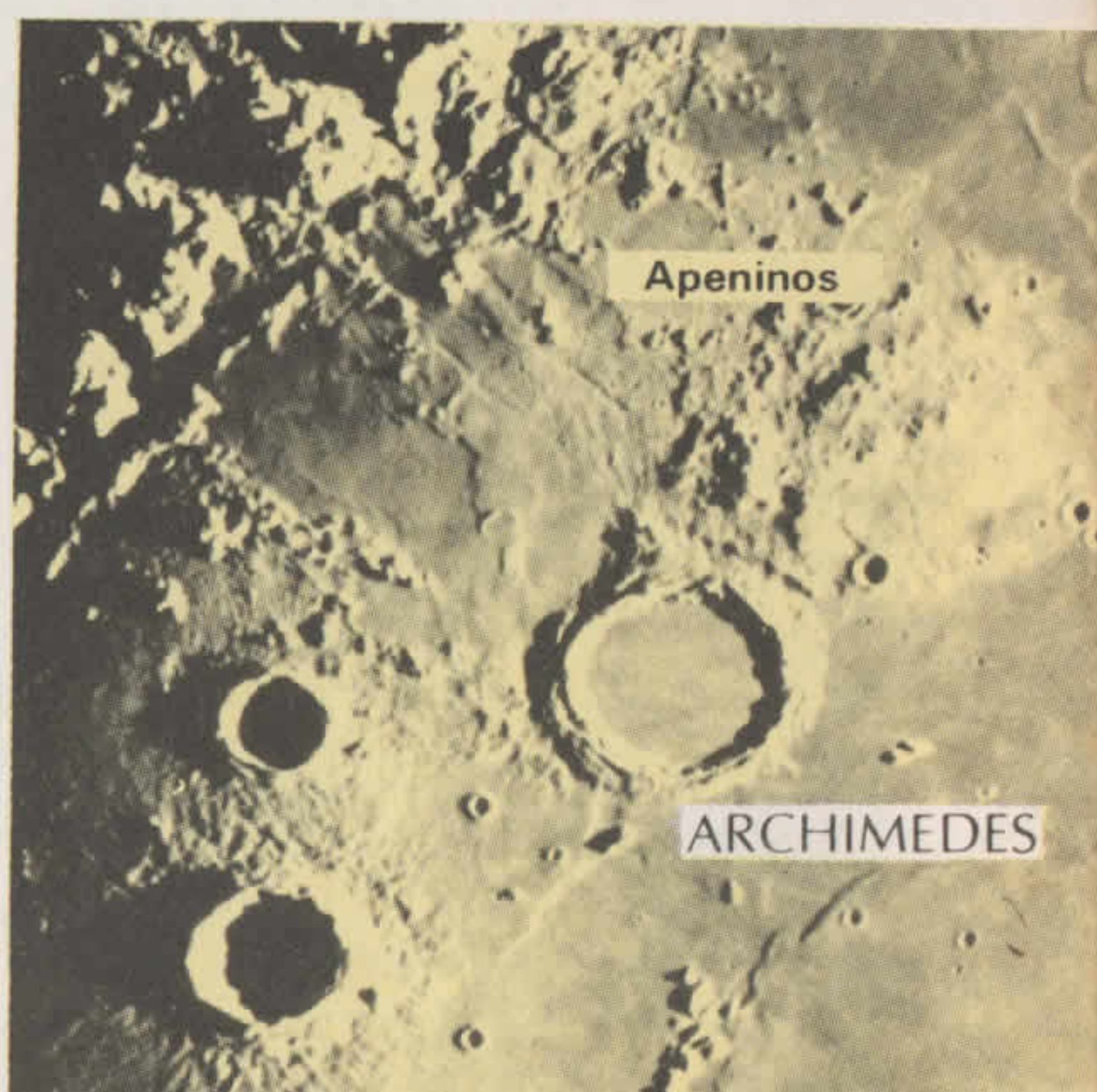
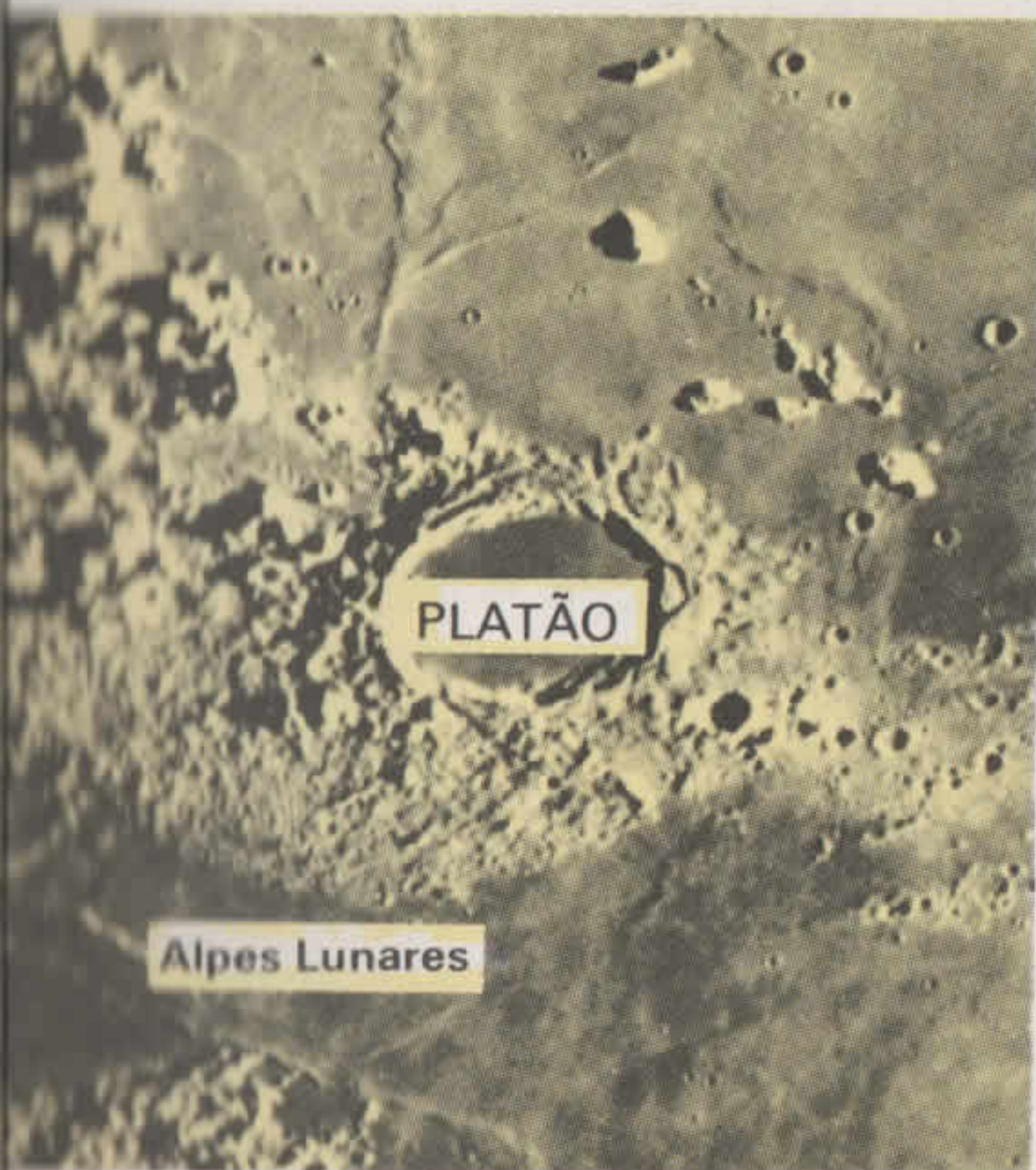
*Copérnico* (Copernicus) é uma das crateras mais visíveis em direção do centro da Lua, no *Oceanus Procellarum*. A olho nu, aparece como uma irregularidade ao longo do círculo de iluminação logo depois da fase de quarto crescente. É interessante observar Copérnico quando o círculo de iluminação passa pelo fundo da cratera. As sombras mudam



ao longo das encostas interiores enfileiradas. Pela fase da Lua cheia, o Sol brilha quase que verticalmente na cratera, fazendo desaparecer os detalhes que se tornaram visíveis pelas sombras contrastantes. Agora seu sistema de raios brilhantes parece um Sol no fundo dos mares. Copérnico nasceu durante o impacto de um meteoróide gigante que caiu no *Oceanus Procellarum*. O círculo de iluminação do ocaso mergulha a cratera na escuridão depois da fase do quarto minguante.

Ao longo da margem do *Mare Nubium* encontra-se um trio de crateras notáveis. São elas *Ptolomeu* (*Ptolemaeus*), *Alphonsus* e *Arzachel*. *Arzachel* parece ser a mais nova, com uma borda abrupta e um pico central alto. *Alphonsus* é a mais velha e mostra indícios de derramamento de lava. Marcas escuras aparecem ao longo do solo, na base das encostas da cratera. Estas marcas podem ser camadas de cinzas vulcânicas de atividade tectônica anterior. Têm-se observado gases exalando do pico de montanha central. *Ptolomeu*, como suas encostas gastas mostram sinais de idade e do impacto de meteoróides vindos do espaço, pode ser a mais antiga das três crateras. Seu solo é plano como resultado do derramamento do magma do interior para a superfície, que é também marcada por muitas crateras pequenas.

*Tycho* está situada na região montanhosa, em direção do pólo sul lunar. Esta região é rica em crateras sobrepostas isoladas dos mares. *Tycho* é uma exceção e se acredita que seja uma das crateras mais novas. Suas encostas estão intactas e não mostram a deterioração das outras crateras mais próximas como *Maginus*, *Longomontanus* e *Wilhelm*. Os resíduos do impacto que formou *Tycho* estendem-se como raios quase 3.000 quilômetros através da face da Lua, sobre todos os tipos de terreno, do *Mare Nectaris* (Mar do Néctar), ao oeste, até as *Montanhas Rifeus* no *Oceanus Procellarum*. Perto, ao sul, está *Clavius*, a maior planície murada da Lua.



Ao lado: Região montanhosa com crateras perto do pólo lunar.  
Embaixo: Platão nos Alpes Lunares e Arquimedes perto dos Apeninos, nas margens do *Mare Imbrium*.





## Montanhas Lunares

As cadeias de montanhas da Lua acompanham as planícies circulares de lava dos mares. De fato, há uma forte semelhança entre as montanhas da Lua e as encostas das grandes crateras planas, como Platão e Arquimedes. A face interna das encostas das montanhas e das crateras apresentam um declive suave em direção do solo plano; a face externa da cratera inclina-se gradualmente para a superfície em redor. As cadeias de montanhas também apresentam um declive gradual partindo da região plana dos mares.

Acredita-se que os mares se formaram por impacto, levantando a muralha circular enorme de uma imensa cratera. Mais tarde, inundações de lava formaram os solos relativamente lisos dos mares. Cadeias e picos isolados podem ser os afloramentos de cadeias antigas submersas por inundações periódicas subsequêntes. O *Mare Imbrium* tem vários picos isolados como *Pico*, *Piton* e a *Muralha Reta*, um pequeno



grupo de montanhas que acompanha a curva do *Mare Imbrium*, quando este se liga a Pico e a Piton.

Segundo o costume de se darem a algumas montanhas da Lua nomes de cordilheiras da Terra, as *Montanhas Jura* acompanham a borda do *Sinus Iridium*. Prosseguindo ao longo da margem do *Mare Imbrium* estão os *Alpes Lunares*. A proeminente cratera Platão, com seu fundo escuro e plano, acha-se engastada na cadeia, tendo aparentemente se implantado nos Alpes depois que as montanhas se formaram. A lava verteu na cratera, nivelando seu solo. Há indícios de outras catástrofes no *Vale Alpino*; formou-se uma brecha enorme quando as montanhas foram literalmente rasgadas e a lava verteu, criando uma passagem entre o *Mare Imbrium* e o *Mare Frigoris*.

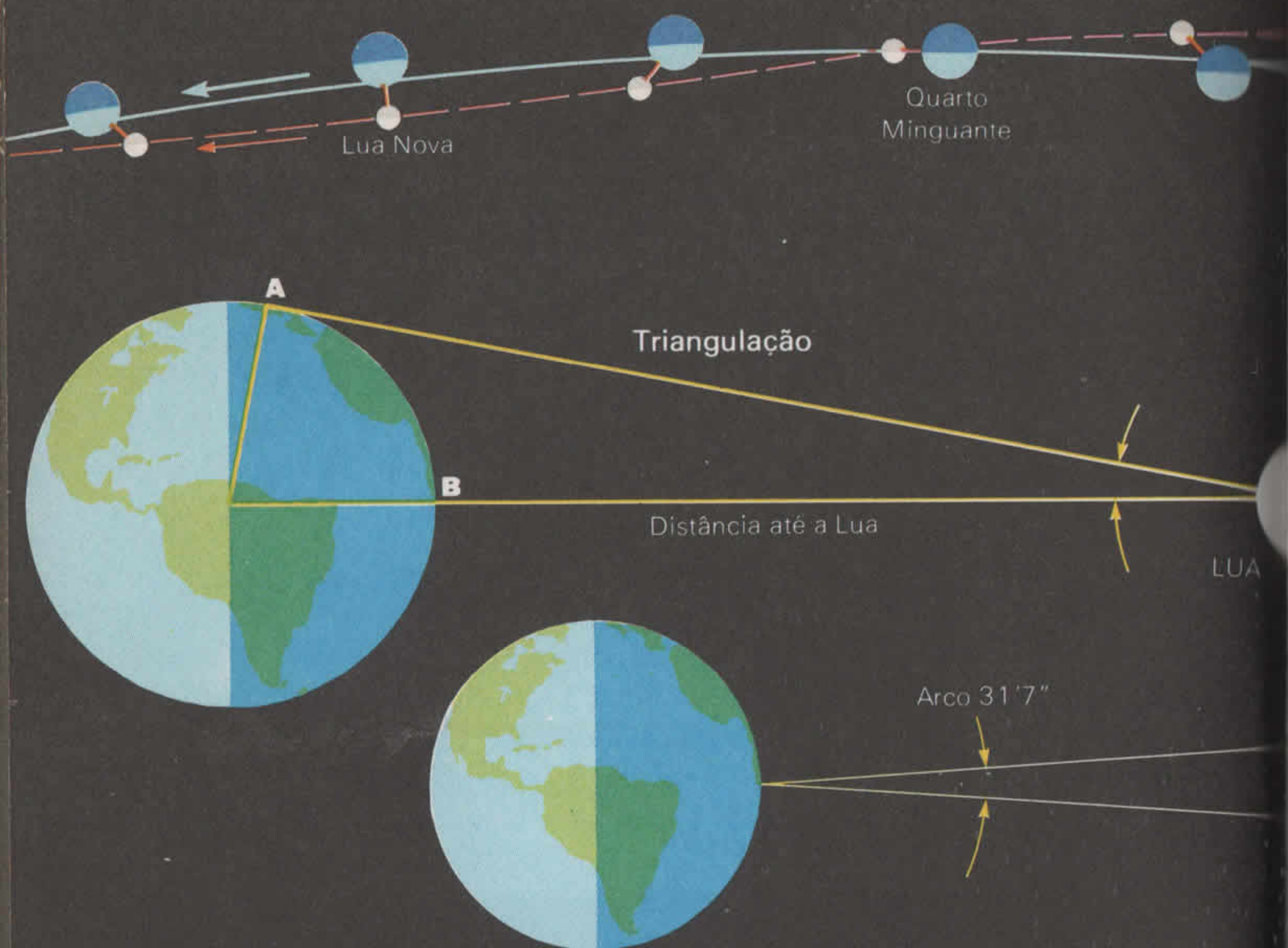
As *Montanhas Cáucaso*, ao longo da margem norte do *Mare Serenitatis*, curvam-se para formar a borda oriental do *Mare Imbrium*. Neste local, uma fenda na cadeia liga o *Mare Serenitatis* ao *Mare Imbrium*. Ao sul da fenda estão os *Apeninos*, que se curvam para o sudoeste e terminam na cratera *Eratóstenes*. As *Montanhas Doerfel* e *Leibnitz* estão no hemisfério sul. Nele estão os picos mais altos da Lua, atingindo 9.000 metros, tão altos quanto o Everest na Terra.



Ao lado: Montanhas lunares cercam os mares.

Em cima: Fotografia da Apolo 17, revelando parte do lado oculto da Lua, coberto de crateras.

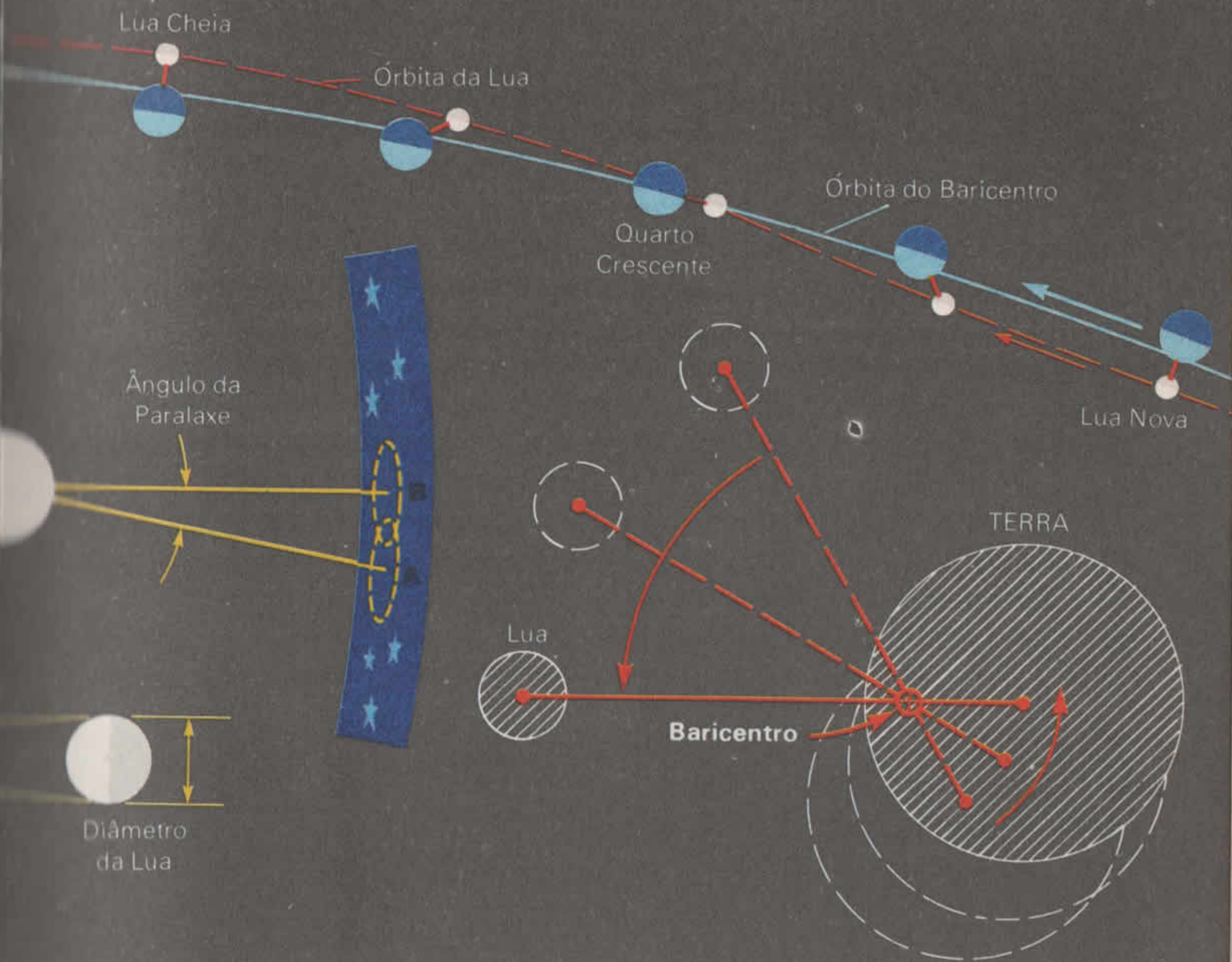




## Medindo a Lua

A distância entre a Terra e a Lua pode ser determinada pela observação da Lua de dois pontos, ou estações, na superfície da Terra. Este método, chamado *triangulação*, é também usado por agrimensores para medir distâncias na Terra. Como a Lua está muito mais perto da Terra do que das estrelas, cada estação verá a Lua num diferente campo estelar. O deslocamento angular ou mudança da posição da Lua entre as estrelas chama-se *paralaxe*. Este deslocamento paralático diminui na proporção em que aumenta a distância do objeto no espaço. Por exemplo, as estrelas estão longe demais para mostrar uma paralaxe que possa ser medida de dois pontos na superfície da Terra. A paralaxe estelar requer o diâmetro da órbita da Terra como linha de base. (Ver p. 113). O deslocamento paralático da Lua entre as estrelas é igual ao ângulo formado por duas estações na Terra como são vistas da Lua. Quando o raio da Terra é a linha de base, o deslocamento é chamado de paralaxe horizontal da Lua.

A paralaxe é usada para se encontrar o diâmetro da Lua. Depois que sua distância foi calculada, o diâmetro angular da Lua pode ser convertido em medida linear. No *perigeu*, a Lua parecerá maior do que no *apogeu*. O valor médio do diâmetro angular é 31'7" de arco. Na distância média da Lua em relação à Terra esta medida angular equivale à distância de 3.500km.



## O Sistema Terra-Lua

O efeito gravitacional da Lua na Terra é exemplificado pelo movimento periódico das marés. A atração gravitacional da Terra mantém a Lua em órbita em redor da Terra. Estritamente falando, a Terra e a Lua giram em redor de um centro de gravidade comum chamado *baricentro*, situado cerca de 1.700 quilômetros abaixo da superfície da Terra.

A distância entre o centro da Lua e o baricentro é 81 vezes maior do que a distância do baricentro ao centro da Terra. Como o baricentro é o centro da massa, então a Terra é 81 vezes mais compacta do que a Lua. O baricentro é localizado pela observação de planetas próximos. Por exemplo, Marte oscila diante de um fundo de estrelas num período de um mês sideral. Este movimento de Marte não é real, mas o efeito do centro da Terra girando em redor do baricentro. O deslocamento de Marte é uma medida da distância entre o observador na superfície e o baricentro.

A Terra e a Lua giram em redor do Sol num ano e em redor do baricentro num mês sideral. Além disto, as órbitas da Terra e da Lua permanecem côncavas em direção do Sol. Em relação à Terra, a Lua gira numa órbita elíptica aparente com a Terra num foco. Em relação ao Sol, a Terra e a Lua giram em redor do baricentro, que gira numa órbita elíptica aparente em redor do Sol.



# O SISTEMA SOLAR

## Os Planetas

Os planetas podem ser divididos em dois grupos, os *terrestres*, ou semelhantes à Terra, e os *jupiterianos*, ou semelhantes a Júpiter. As características físicas e orbitais de um grupo são opostas às do outro. Os planetas terrestres incluem *Mercúrio*, *Vênus*, *Terra* e *Marte*. Os planetas jupiterianos são *Júpiter*, *Saturno*, *Urano* e *Netuno*. Plutão, embora tenha tamanho terrestre, é o planeta mais distante do sistema solar.

Os planetas terrestres estão perto do Sol. Considerem a distância de 149.500.000 quilômetros da Terra ao Sol como uma unidade de medida. Esta distância é chamada de *unidade astronômica*, ou U.A. Marte gira numa órbita a 1,5 U.A. do Sol, ou seja, uma vez e meia a distância entre a Terra e o Sol. Júpiter fica a mais de 5 U.A. do Sol. O espaço

enorme entre Marte e Júpiter, que fixa os limites dos planetas terrestres e jupiterianos, é ocupado por milhares de blocos de rocha e de ferro chamados de *asteróides*, os *planetas menores*. Com Júpiter a 5,2 U.A. e Netuno a 30 U.A., os planetas jupiterianos estão muito distantes no sistema solar, com muitas unidades astronômicas entre eles.

Os planetas terrestres têm rotação lenta, levando de 100 a 250 dias para completar uma volta; os planetas jupiterianos giram em menos de um dia. Planetas como a Terra levam dias para fazer uma volta em redor do Sol; os planetas jupiterianos precisam de anos para completar suas órbitas. Os planetas terrestres são pequenos e rochosos; os planetas jupiterianos são enormes e compostos de elementos gasosos. Todos os planetas giram em órbitas elípticas de modo que a distância que ficam do Sol muda continuamente.

Os planetas são as antigas "estrelas errantes", em órbita em redor do Sol. A Terra e a Lua estão em terceiro lugar a partir do Sol.





## Mercúrio

Mercúrio, com um diâmetro de 4.988,9 quilômetros, não é só o planeta menor, como é também o que fica mais próximo do Sol. Como sua órbita é muito excêntrica, o planeta fica quase que 24.150.000 quilômetros mais perto do Sol no periélio do que no afélio. Sua distância média do Sol é de 58.000.000 quilômetros ou 0,39 U.A. Numa velocidade orbital média de 49 quilômetros por segundo, o planeta requer 88 dias para completar sua jornada em redor do Sol.

Visto da Terra, Mercúrio parece se alternar do leste para o oeste do Sol enquanto gira. O ângulo entre o planeta e o Sol chama-se *elongação*. Devido a sua proximidade do Sol, a elongação de Mercúrio não pode exceder a 28°, aparecendo baixo no horizonte no nascer do Sol e no ocaso. Da Terra, o telescópio mostra Mercúrio passando por fases como as da Lua, pois parte do lado iluminado (voltado para o Sol) fica exposta para a Terra durante o movimento de revolução do planeta em redor do Sol.

O tamanho de Mercúrio e sua proximidade do Sol tornam difícil a observação de sua superfície. Observaram-se marcas escuras e luminosas que parecem ser regiões planas de *maria* como as encontradas na Lua.

Acreditou-se durante anos que o período de rotação de Mercúrio fosse igual a sua revolução de 88 dias. Observações por radar realizadas em 1965 e a confirmação fotográfica posterior mostraram que a rotação do planeta é de cerca de 59 dias ou dois terços do período de revolução. Uma combinação desses movimentos faz com que os dias e as noites em Mercúrio tenham uma duração de 88 dias terrestres. Ao meio-dia, a temperatura na superfície atinge 337°C.

## Vênus

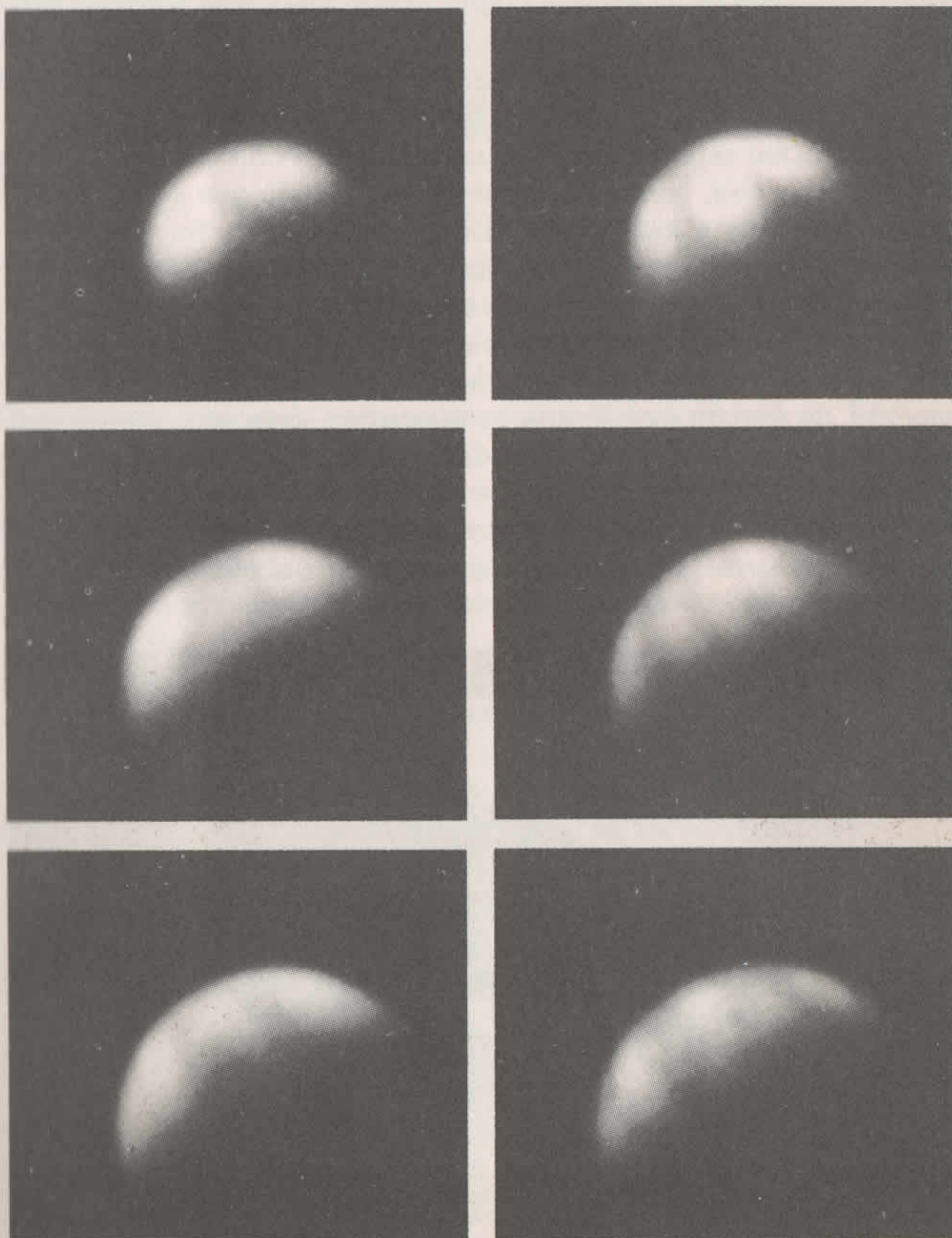
Vênus é o planeta mais próximo da Terra e um dos menos compreendidos. Perpetuamente coberto por nuvens de modo que nenhum detalhe de sua superfície é visível, Vênus aparece no telescópio em fases diferentes, da crescente à cheia. Galileu foi o primeiro a considerar as fases como uma prova do sistema heliocêntrico de Copérnico. Vênus tem cerca de 12.500 quilômetros de diâmetro e gira numa distância média de 108.000.000 quilômetros do Sol. Sua velocidade orbital média é de 35,5 quilômetros por segundo, cerca de 13 quilômetros por segundo mais lenta do que a de Mercúrio. Numa distância maior do Sol, Vênus precisa de menos velocidade para manter sua órbita num período de 225 dias.

A cobertura de nuvens torna o planeta um desapontamento quando é examinado pelo telescópio. Áreas escuras aparecem ocasionalmente entre as nuvens, tendo-se tentado, em vão, medir o período de rotação pela passagem dessas manchas através do disco do planeta. Um brilho acinzentado na atmosfera do lado escuro sugere a refração de luz



procedente do hemisfério brilhante voltado para o Sol. Também podem estar presentes descargas elétricas e a aurora. Cerca de 40 anos atrás, descobriu-se que o dióxido de carbono era a substância mais abundante na atmosfera. Desde então, tem sido investigada a natureza das nuvens e a presença de vapor d'água. Há 15 anos, vêm-se realizando estudos em grandes altitudes à procura de oxigênio e de nitrogênio, que constituem a atmosfera da Terra.

Sinais de radar refletidos pela superfície de Vênus indicam uma superfície acidentada e possivelmente uma cadeia de montanhas e uma garganta no hemisfério sul. Alguns sinais indicam um período rotacional *retrógrado* de 243 dias — na direção oposta dos outros planetas. A temperatura sob as nuvens é alta; antes da investigação por satélites, foi estimada em mais de 100 °C, o ponto de fervura da água.



Vênus na fase crescente, passando entre o Sol e a Terra.



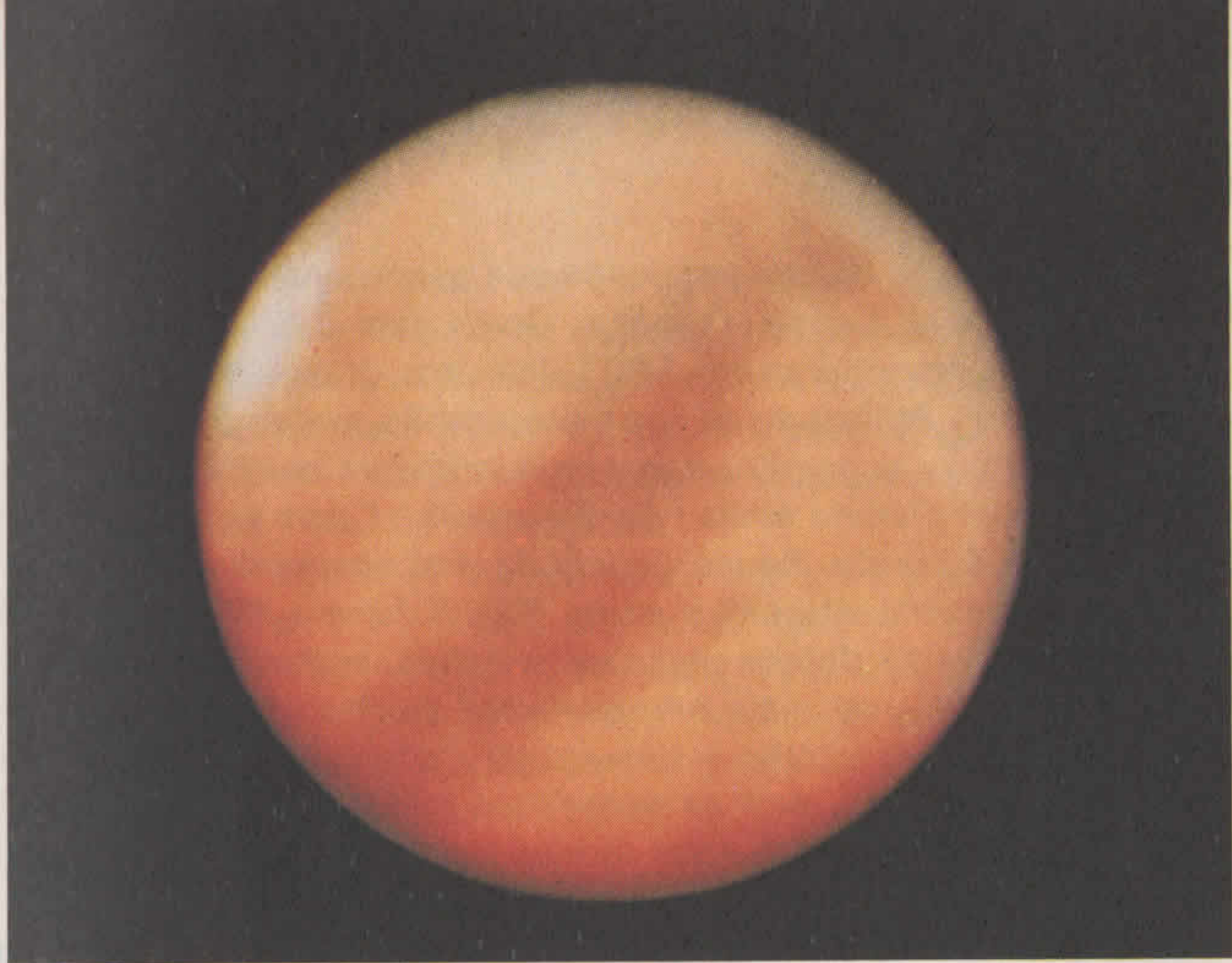
## Terra

A Terra é esferoidal, com um leve achatamento polar devido à rotação. É o terceiro planeta a partir do Sol e é o único que tem grandes extensões de água cobrindo mais de 70% da superfície. Uma pequena porção da crosta estende-se acima dos oceanos. São os continentes que, juntamente com os oceanos e parte da atmosfera, constituem a *biosfera*, onde pode existir vida. A crosta sólida, chamada *litosfera*, tem uma espessura entre 5 e 65 quilômetros e está separada da camada seguinte, a *capa*, pela *Descontinuidade de Mohorovičić*. Há então uma mudança abrupta de estrutura. A capa estende-se por 2.900 quilômetros em direção do centro e, embora não seja líquida, o movimento da rocha não ocorre devido às grandes pressões que existem. Abaixo da capa há outra descontinuidade, que é o limite do núcleo. Acredita-se que o núcleo esteja dividido numa camada líquida, com 2.172 quilômetros de espessura, cercado um centro sólido com cerca de 2.575 quilômetros de diâmetro. Acredita-se que as partes líquida e sólida do núcleo sejam ferro e níquel, que agem como um dínamo enquanto a Terra gira, criando um campo magnético que se estende por milhares de quilômetros no espaço.

A *atmosfera* da Terra é formada principalmente de nitrogênio (78%) e oxigênio (20%) com uma grande quantidade de vapor d'água que se condensa em nuvens. Esta mistura estende-se além da *estratosfera* para a *mesosfera*, 89 quilômetros acima da superfície. Aqui começa a *ionosfera*, ou porção eletrificada da atmosfera, com suas várias camadas ionizadas em diferentes altitudes. Teoricamente, a atmosfera estende-se por 35.500 quilômetros. A maioria do ar, contudo, está a menos de 6.500 metros de altitude, diminuindo rapidamente em densidade e em pressão à medida em que aumenta a elevação. O espaço cósmico começa 160 quilômetros acima da Terra.







## Marte

Visto por um telescópio, o disco de Marte, em oposição favorável, mostra tantos detalhes quanto uma observação da Lua cheia a olho nu. Como a atmosfera de dióxido de carbono do planeta é transparente, a superfície mostra calotas polares de dióxido de carbono congelado, cor de cobre, extensões como que desertas e regiões cinzentos-esverdeadas de *maria*, que se pensou que fossem mares. Não existe nenhuma extensão grande de água.

Presume-se que o óxido de ferro hidratado seja responsável pela cor avermelhada, embora esta possa ser atribuída ao subóxido de carbono. As áreas esverdeadas ficam mais evidentes durante a primavera e o verão do ano marciano, quando a calota polar de gelo recua das latitudes médias. Alguns astrônomos tentaram explicar as áreas verdes como sendo vegetação marciana, mas os estudos não revelaram a presença de clorofila, o que torna a vida vegetal altamente improvável.

A atmosfera é predominantemente dióxido de carbono, com traços de vapor d'água, oxigênio e ozônio. A pressão atmosférica é cerca de um centésimo daquela da Terra. Formam-se nuvens de cristais de gelo alguns quilômetros acima da superfície, enquanto que nuvens amarelas de poeira são agitadas por ventos enraivecidos.

Marte tem um diâmetro de 6.783 quilômetros e sua densidade é um décimo daquela da Terra. O período de rotação é de 24 horas e 37 minutos; o equador está inclinado 25° em direção da órbita. A temperatura pode atingir 40° no equador, mas cai abaixo de -40° à noite.

Marte tem dois satélites, descobertos por Asaph Hall em 1877. Com apenas alguns quilômetros de diâmetro, acredita-se que sejam asteróides capturados, com Fobos 6.000 quilômetros acima de Marte, fazendo uma revolução em 7 horas e 39 minutos, e Deimos girando em 30 horas e 18 minutos, numa distância de 20.000 quilômetros.

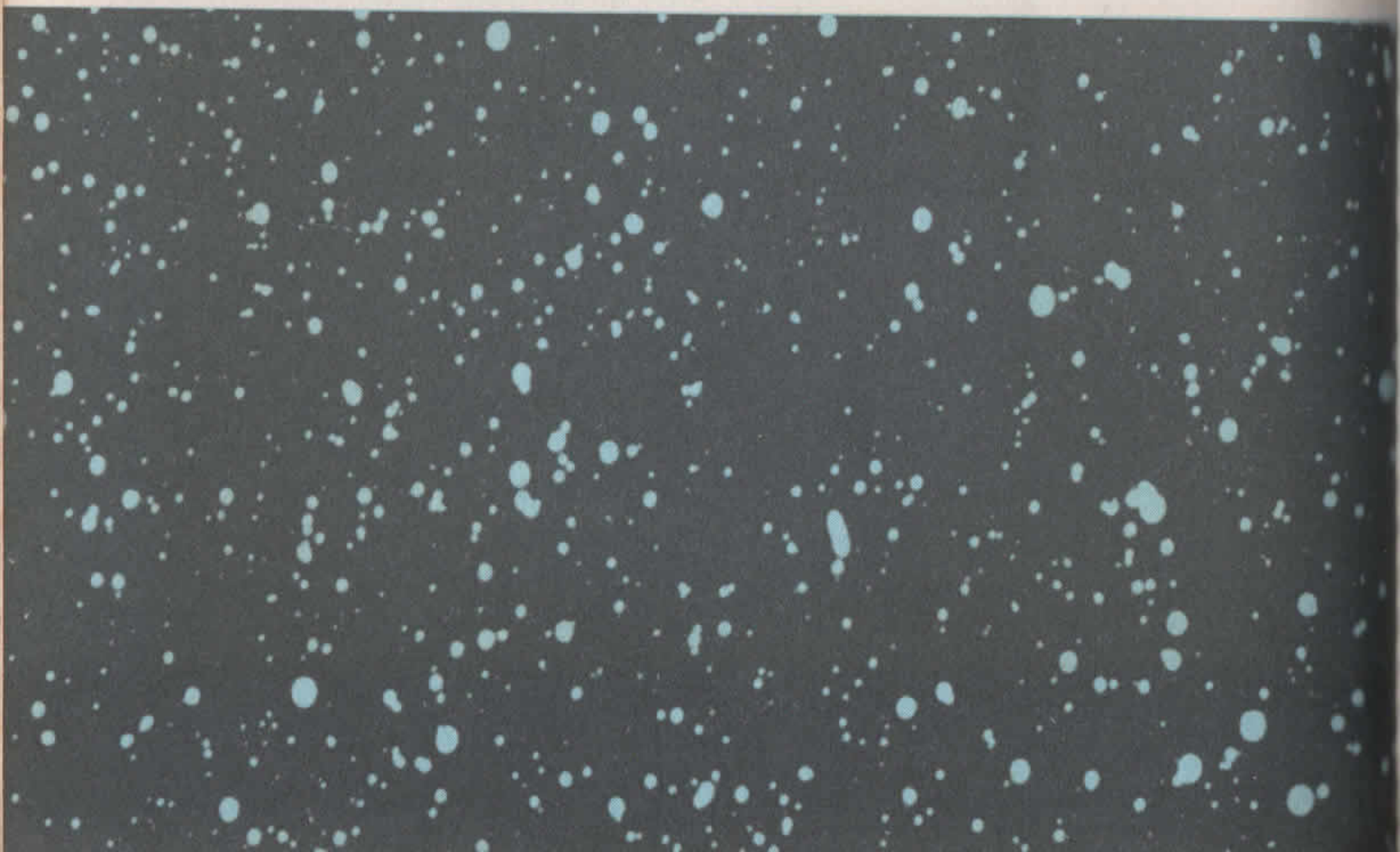
Ao lado: Vista do espaço, a Terra mostra uma extensa cobertura de nuvens.  
Em cima: O planeta Marte, com sua calota polar e sua superfície avermelhada.



## Asteróides

Os asteróides são corpos pequenos que geralmente seguem trajetórias entre Marte e Júpiter. O maior, *Ceres*, tem 772 quilômetros de diâmetro e foi descoberto em 1801. Há uma grande distância entre Marte e Júpiter. Aplicando-se uma progressão matemática chamada *Lei de Titius-Bode*, os astrônomos prognosticaram que o espaço estava ocupado por um planeta ainda não descoberto. Ceres seria este planeta que estava faltando. Pouco depois da descoberta de Ceres, foram encontrados outros asteróides como *Palas*, *Juno* e *Vesta*. Hoje são conhecidos milhares desses planetas menores, sugerindo que, em alguma ocasião, dois ou mais protoplanetas se chocaram, formando o *cinturão de asteróides*. Não é necessária a aceitação dessa teoria de origem por cataclismo, pois os asteróides podem ser remanescentes da nebulosa solar original, com massa insuficiente para formar um planeta maior.

Nem todos os asteróides permanecem em órbitas entre Marte e Júpiter. *Ícaro* afasta-se do cinturão de asteróides, chegando a 32.180.000 quilômetros do Sol, dentro da órbita de Mercúrio. Outros asteróides, como *Eros*, *Amor* e *Apolo* aproximam-se de 22.500.000 a 16.000.000 quilômetros de nosso planeta. Em 1937, *Hermes* foi descoberto numa distância de cerca de 805.000 quilômetros, ou seja, duas vezes a distância da Lua. A Terra pode colidir com um asteróide? As superfícies da Lua, da Terra e de outros planetas revelam colisões anteriores com corpos do tipo dos asteróides. Meteoróides grandes ou enormes blocos de rocha e de metal, pesando várias toneladas, continuam a cair na Terra periodicamente, mas nenhum atinge o tamanho de um grande asteróide capaz de produzir danos catastróficos, talvez porque os blocos maiores já foram usados na formação dos planetas. Desde que se iniciou a observação da Lua (com Galileu), nenhuma cratera — grande ou pequena — foi acrescentada à sua superfície.





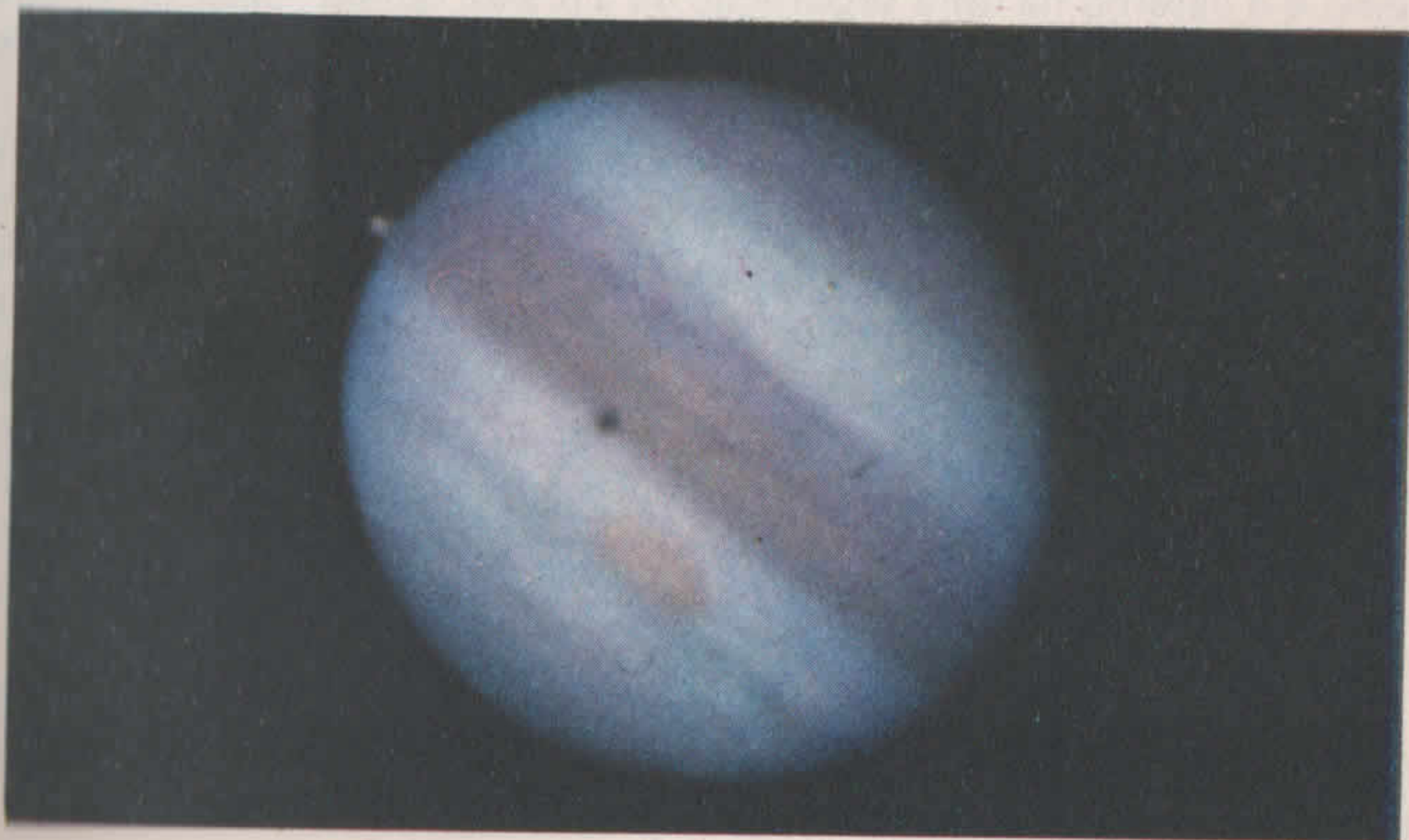
## Júpiter

Júpiter é o planeta maior em tamanho e em massa. Na verdade, Júpiter contém mais matéria do que todos os planetas, satélites, asteroides, poeira e gás que formam o resto do sistema solar. Juntos, o Sol e Júpiter constituem 99,9% do sistema solar. O diâmetro equatorial de Júpiter é de 143.200 quilômetros, enquanto que seu diâmetro polar é de quase 135.200 quilômetros.

É muito interessante se observar este planeta por um telescópio. A atmosfera de Júpiter é marcada por faixas horizontais; as faixas escuras são chamadas de *cinturões*, as faixas brilhantes são denominadas *zonas*. A *Grande Mancha Vermelha* é uma característica atmosférica incomum. A mancha é elíptica, com um eixo maior de 38.600 quilômetros; sua largura é de quase 12.870 quilômetros.

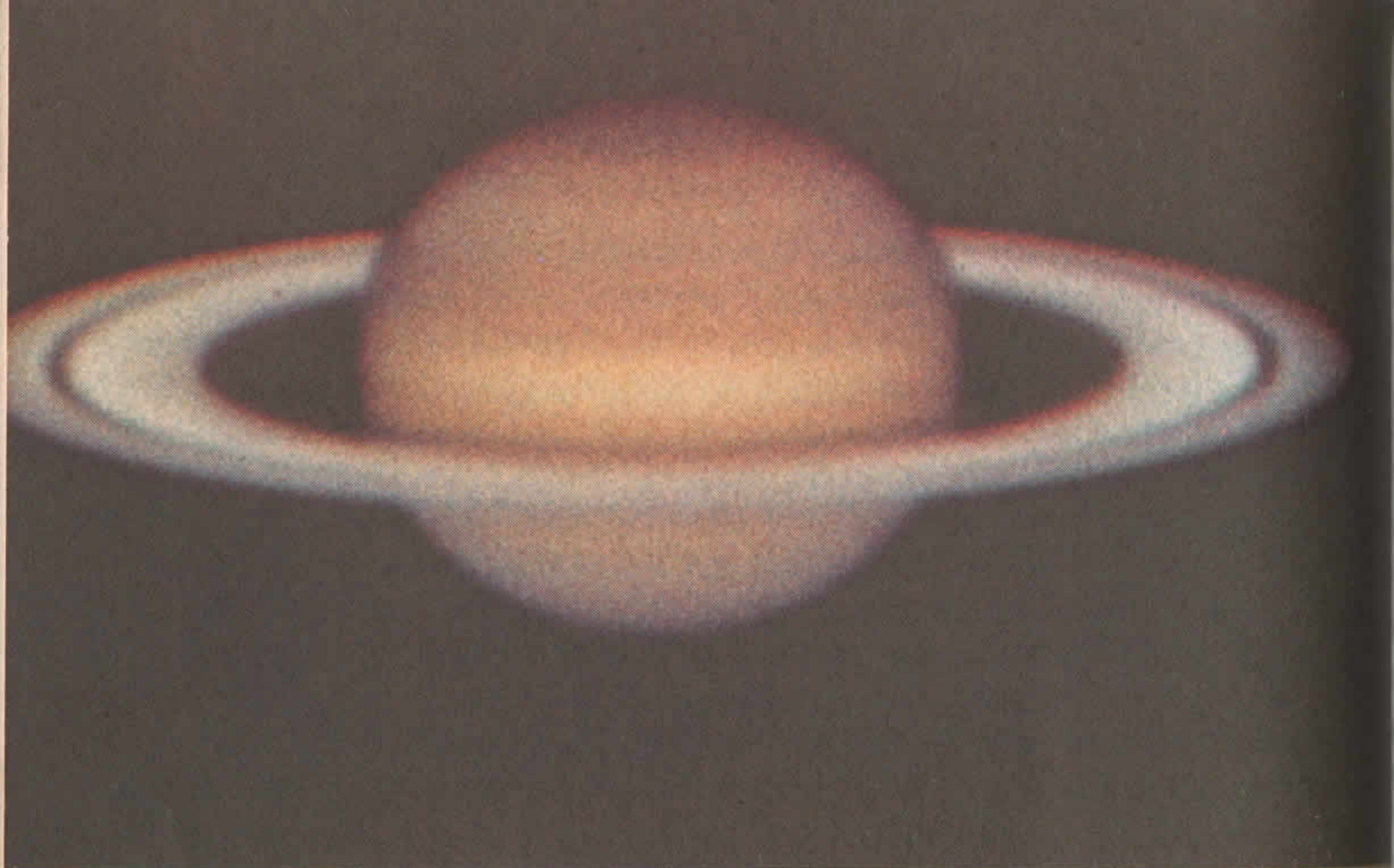
Como o Sol, Júpiter é principalmente hidrogênio e hélio. A atmosfera do planeta pode ter 85% de hidrogênio e 15% de hélio por volume. Estão incluídos traços de amoníaco e de metano, com cristais de amoníaco na atmosfera superior. Acredita-se que a atmosfera tenha apenas algumas centenas de quilômetros de espessura e a consistência de lama molhada na superfície. A superfície de Júpiter pode ser hidrogênio líquido com hidrogênio sólido no centro, ou talvez um núcleo central rochoso.

Quatro satélites, as *luas galileanas*, descobertas por Galileu, são visíveis com binóculo ou com um pequeno telescópio. Esses objetos, interessantes podem ser acompanhados noite após noite, mudando de posição enquanto giram em redor de Júpiter. Eles se chamam *Io*, *Europa*, *Ganimesdes* e *Calisto*. Ganimesdes é maior do que o planeta Mercúrio. Os outros três são comparáveis em tamanho à Lua da Terra. Os outros oito satélites — para um total de 12 — que giram em redor de Júpiter, têm apenas alguns quilômetros de diâmetro. Quatro podem ser asteroides capturados.



Ao lado: Um asteroide é detectado como uma pequena faixa de luz entre as estrelas. Em cima: Júpiter, com sua atmosfera formando faixas e a Grande Mancha Vermelha.





## Saturno

Saturno é o planeta mais bonito para se observar num telescópio. As marcas pálidas, semelhantes às de Júpiter, que aparecem através do disco são nuvens de hidrogênio e de metano. Acredita-se que Saturno tenha uma superfície de hidrogênio líquido que se junta ao hidrogênio sólido no interior. O planeta gira rapidamente em seu eixo, o que lhe confere uma convexidade equatorial pronunciada. Seu diâmetro é de 120.675 quilômetros no equador e 109.412 quilômetros nos pólos.

A característica marcante de Saturno são seus anéis, compostos de milhões de partículas que giram no plano do equador do planeta. O *anel externo* tem um diâmetro de 275.139 quilômetros. Entre o *anel médio* e o externo há uma separação de 28.962 quilômetros, chamada *divisão de Cassini*. O intervalo é causado pelo efeito gravitacional de Saturno e de seus satélites, que estão além do sistema de anéis. Dentro do anel médio brilhante está o pálido *anel de crepe* que é tão tênue que não esconde as estrelas brilhando além dele. Um quarto anel, o mais próximo de Saturno, é mais indefinível do que o anel de crepe e só pode ser observado por meio de um telescópio grande. O sistema de anéis está inclinado  $28^\circ$  para a eclíptica. Como o planeta requer  $29 \frac{1}{2}$  anos para girar em redor do Sol, os anéis aparecem descobertos e de perfil todos os  $7 \frac{1}{2}$  anos. Os anéis ficam voltados para a Terra de 15 em 15 anos, mostrando alternadamente o hemisfério norte e sul. Quando são vistos de perfil, os anéis desaparecem, indicando uma espessura de poucos quilômetros apenas.

Saturno tem 10 satélites; *Titã*, o maior do sistema solar, é cerca de 80,5 quilômetros maior do que Ganimedes de Júpiter. É maior até do que o planeta Mercúrio.

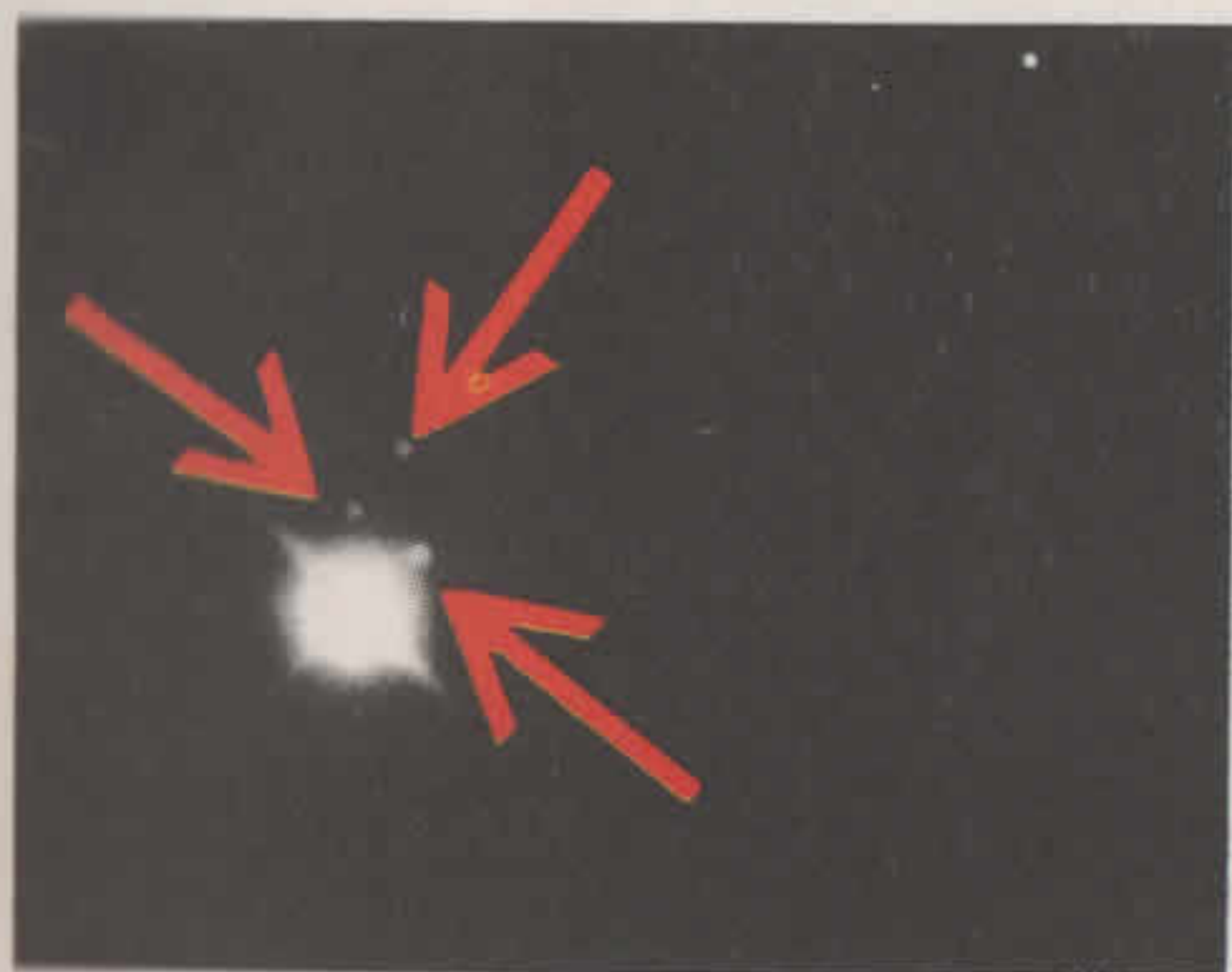


## Os Dois Gêmeos Gigantes — Urano e Netuno

Urano foi descoberto por William Herschel em 1781. O planeta é um objeto de sexta magnitude, observado antes de Herschel, mas marcado nos mapas do céu como uma estrela fraca. Depois de sua descoberta, Urano foi identificado nesses mapas proporcionando informações sobre sua trajetória. O planeta tem cerca de 46.660 quilômetros de diâmetro e está duas vezes mais afastado do Sol do que Saturno. Nessa distância, Urano requer 84 anos para girar em redor do Sol. A órbita de Urano está inclinada apenas  $0,46^\circ$  para a eclíptica; no entanto, seu eixo está inclinado não menos do que  $98^\circ$  em relação à perpendicular da órbita, com o pólo norte do planeta  $8^\circ$  abaixo do plano orbital. Esta inclinação extrema coloca o Sol no zênite em qualquer lugar do planeta alguma vez durante seu período de revolução de 84 anos. Num pequeno telescópio, Urano aparece como um minúsculo disco verde, não sendo portanto tão interessante para se observar como os planetas mais próximos da Terra. Como outros planetas gigantes, Urano tem muito hidrogênio e o metano também foi descoberto em sua atmosfera. Urano tem cinco satélites, o maior, chamado *Titânia*, tem cerca de 965 quilômetros de diâmetro.

Netuno acha-se uma vez e meia mais distante no espaço do que Urano. A descoberta de Netuno, em 1846, foi um triunfo para a teoria gravitacional de Newton. Quando a trajetória de Urano não ocorreu de acordo com o previsto, alguns astrônomos sugeriram que a lei de gravidade não era universal. A teoria gravitacional foi confirmada por dois astrônomos, Leverrier, na França, e Adams, na Inglaterra, que atribuíram esses desvios na posição de Urano ao efeito de um planeta desconhecido mais distante do Sol. Assim, Netuno foi o primeiro planeta a ser previsto e confirmado por cálculos matemáticos. Numa distância de 30 U.A., Netuno é difícil de ser observado, mesmo por um telescópio grande.

Netuno e Urano são os gêmeos gigantes do sistema solar, com diâmetros e atmosferas de hidrogênio e de metano semelhantes. Netuno tem dois satélites, *Tritão* e *Nereida*; Tritão tem cerca de 3 860 quilômetros de diâmetro — é cerca de 480 quilômetros maior do que a Lua da Terra.



Ao lado: Saturno; os anéis podem ser remanescentes de um satélite. Em cima, à esquerda: Netuno; à direita: Urano, os gêmeos gigantes.



## Plutão

A descoberta de Netuno foi um triunfo da aplicação das leis de Newton às massas e aos movimentos dos planetas. A procura de outros planetas culminou com a descoberta de *Plutão* por Tombaugh, em 1930. As perturbações ou desvios nas posições previstas de Urano e de Netuno levaram à procura do Planeta X. Em 1915, Lowell calculou onde poderia ser encontrado um planeta transnetuniano. Quinze anos depois, Plutão foi descoberto em fotografias tiradas com intervalos de tempo. Quando as chapas foram comparadas, Plutão apareceu como um pequeno ponto de luz de décima quinta magnitude, deslocado entre as estrelas por sua trajetória.

Várias características tornam Plutão único. Com uma excentricidade orbital maior do que qualquer outro planeta, Plutão está dentro da órbita de Netuno no periélio. O plano da órbita, contudo, está inclinado 17° para a eclíptica e há poucas possibilidades de que Plutão e Netuno venham a colidir. Plutão atinge o periélio em 1989 e ficará na órbita de Netuno para o resto deste século.

## Outros Membros da Família do Sol

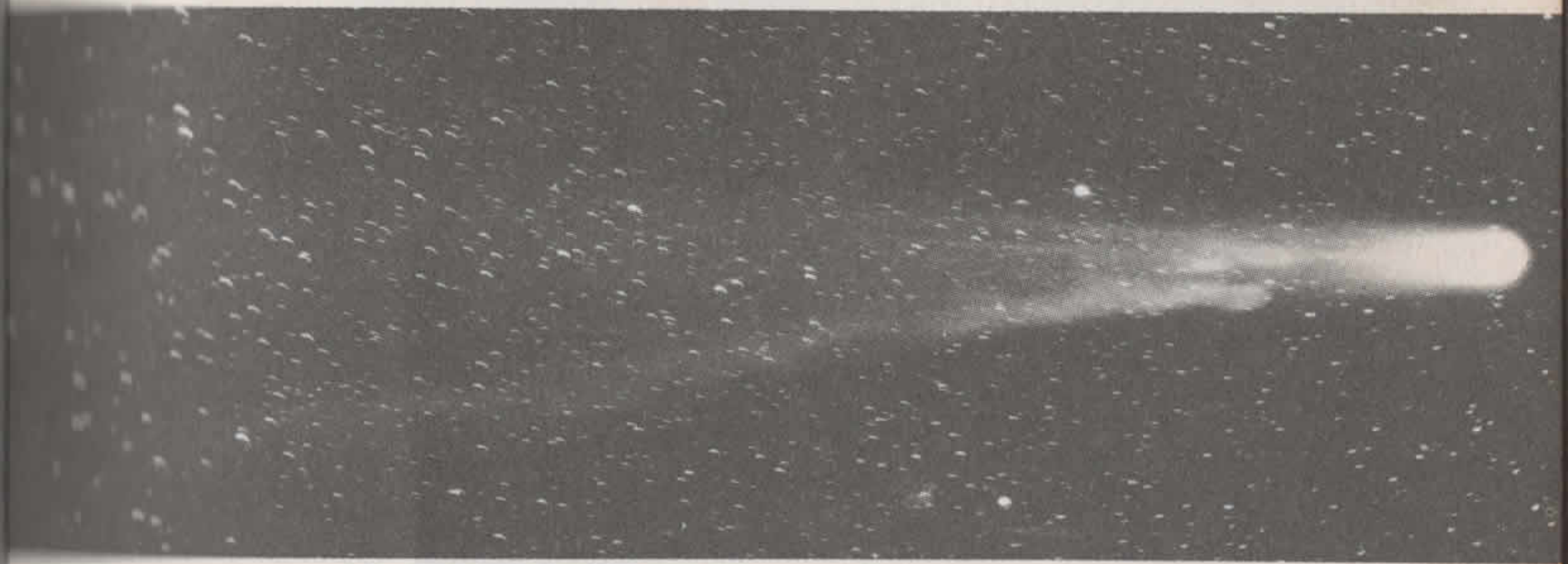
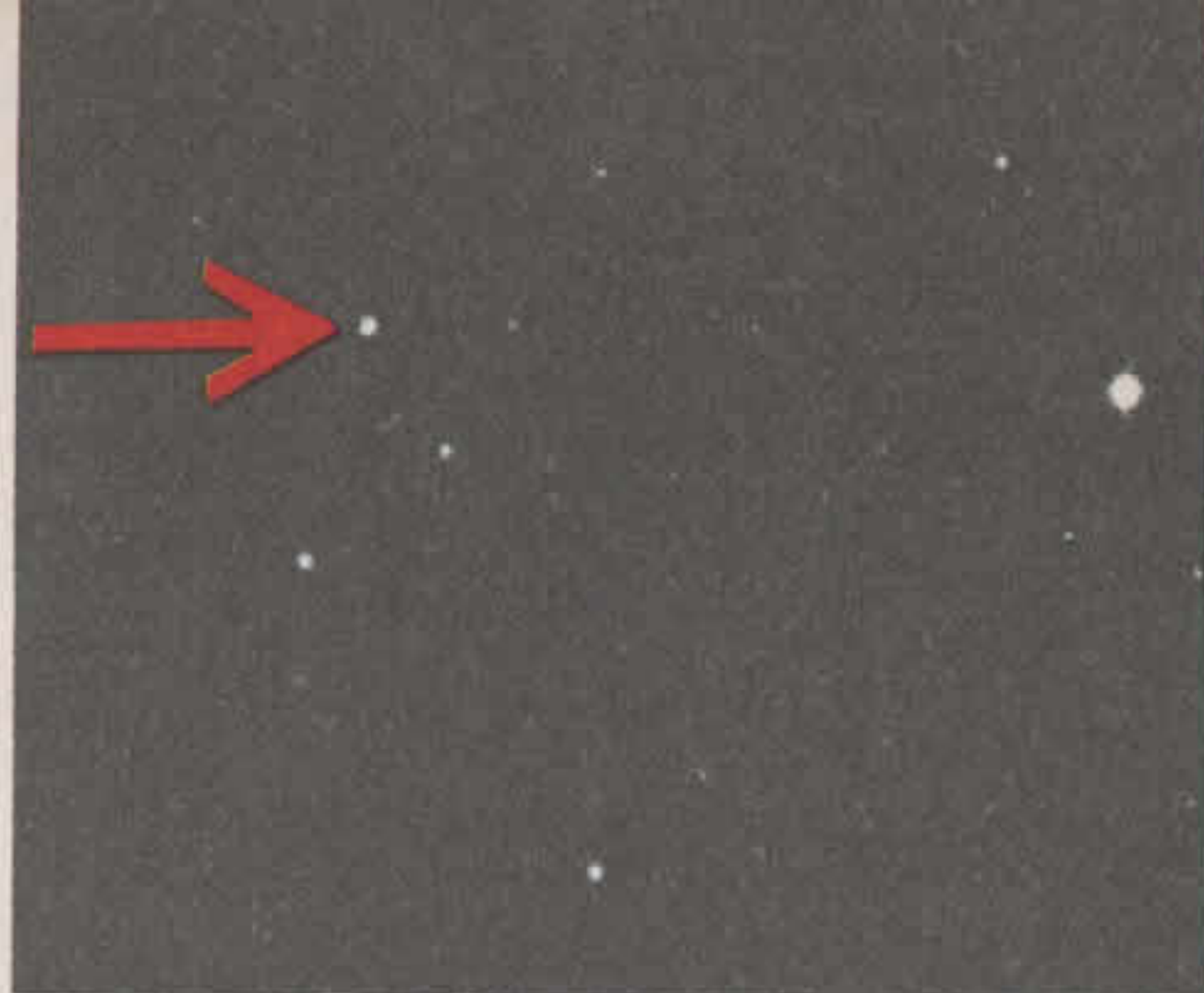
Além dos planetas, dos satélites e dos asteróides, o sistema solar contém cometas, meteoróides, poeira e gás. Os cometas se originam bem longe no espaço, talvez numa nuvem de cometas estendendo-se a vários anos-luz do Sol. Entre as estrelas e o Sol, os cometas são pequenas esferas de gelo. Perturbações dirigem esses cometas para perto do Sol, onde a atração gravitacional dos planetas transforma suas órbitas em curvas elípticas em redor do Sol. O *cometa periódico* mais famoso é o *Cometa de Halley*, que se aproxima do Sol de 75 em 75 anos.

Quando um cometa se aproxima do Sol, a camada externa se evapora, formando um envoltório gasoso chamado *coma* em redor do *núcleo* sólido, que contém água congelada. Além da coma há uma nuvem de gás hidrogênio. Partículas de ferro e de rocha presas no núcleo de gelo são soltas na coma. A radiação solar exerce pressão na coma, o que força as partículas e os gases para longe do sol, formando uma cauda. Um *vento solar* de partículas de alta energia ioniza os gases da cauda tornando-os brilhantes.

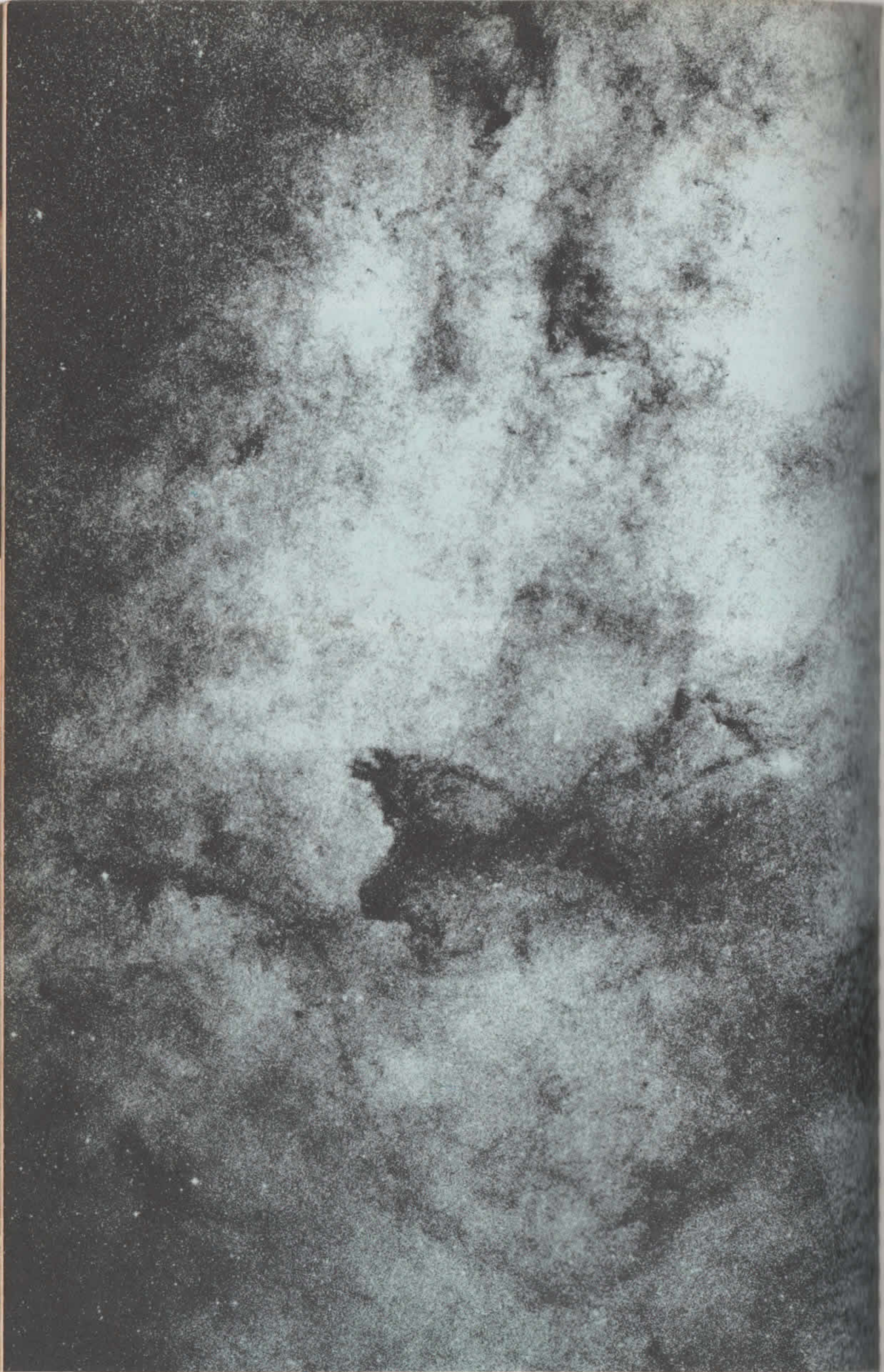
Bilhões de partículas são abandonadas no rasto do cometa contribuindo para o suprimento de poeira interplanetária. Com o movimento da Terra, essas partículas são levantadas, mergulhando na atmosfera para arder como riscas brilhantes chamadas *meteoros*. Os *meteoros esporádicos* podem ser observados em qualquer noite límpida do ano. Os *meteoros periódicos* aparecem em *chuvas* a partir de um ponto particular do céu chamado *radiante*. Essas chuvas de meteoros são denominadas de acordo com a constelação na direção do radiante.

Em cima: Plutão, detectado por seu movimento entre as estrelas. No centro: O Cometa de Halley (reaparecerá em 1986). Embaixo: O Cometa de Halley observado em 1066 e representado numa tapeçaria de Bayeux.









Em cima: A região de Sagitário da Via-láctea tem muitas nuvens de estrelas, de poeira e de gases. Ao lado: Uma exposição fotográfica mais longa do mesmo campo revela mais estrelas.



# AS ESTRELAS E SUA EVOLUÇÃO

## Brilho e Magnitude

A magnitude é a medida do brilho de uma estrela. Esta escala de comparação data de Hiparco (190-125 a.C.), um astrônomo grego que classificou as estrelas em seis categorias. As estrelas mais brilhantes foram catalogadas no primeiro grupo e foram chamadas de estrelas de primeira magnitude. O sexto grupo, contendo as estrelas mais fracas visíveis a olho nu, eram as estrelas de sexta magnitude. O sistema foi perpetuado por Ptolomeu em 140 d.C., em seu grande trabalho, o *Almagesto*, que era uma compilação dos trabalhos astronômicos do passado. Hoje, esta escala de magnitude é usada com refinamentos que se tornaram possíveis graças aos instrumentos modernos. O sistema presente foi estabelecido no meio do século passado por *Pogson*. A *escala de Pogson* conserva o velho sistema de magnitudes, determinando, entretanto, grandezas mais exatas para as estrelas.

Recebe-se cem vezes mais energia luminosa de uma estrela de primeira grandeza do que de uma de sexta. Como a diferença de magnitude é cinco e a proporção de brilho é 100:1, cada magnitude representa uma mudança no brilho por um fator de cerca de 2,5. Uma estrela de primeira magnitude é 2,5 vezes mais brilhante do que uma de segunda. Estrelas de segunda magnitude são 2,5 vezes mais brilhantes do que uma de terceira. A estrela mais brilhante, Sírius, tem uma magnitude de  $-1,4$ , que é mais brilhante do que primeira magnitude. Na escala de Pogson, os objetos mais brilhantes do que primeira magnitude serão de magnitude zero (0). Os objetos mais brilhantes do que zero têm magnitudes negativas ( $-$ ). As magnitudes aumentam numericamente à medida em que diminui o brilho. A magnitude do Sol é  $-26,5$ . A estrela mais fraca fotografada é  $+23,5$ . Essas magnitudes indicam o brilho de estrelas como elas *aparecem* para a vista ou numa chapa fotográfica. Esta *magnitude aparente* não é uma medida do brilho intrínseco ou real, que pode ser encontrado quando se conhece a distância da estrela.

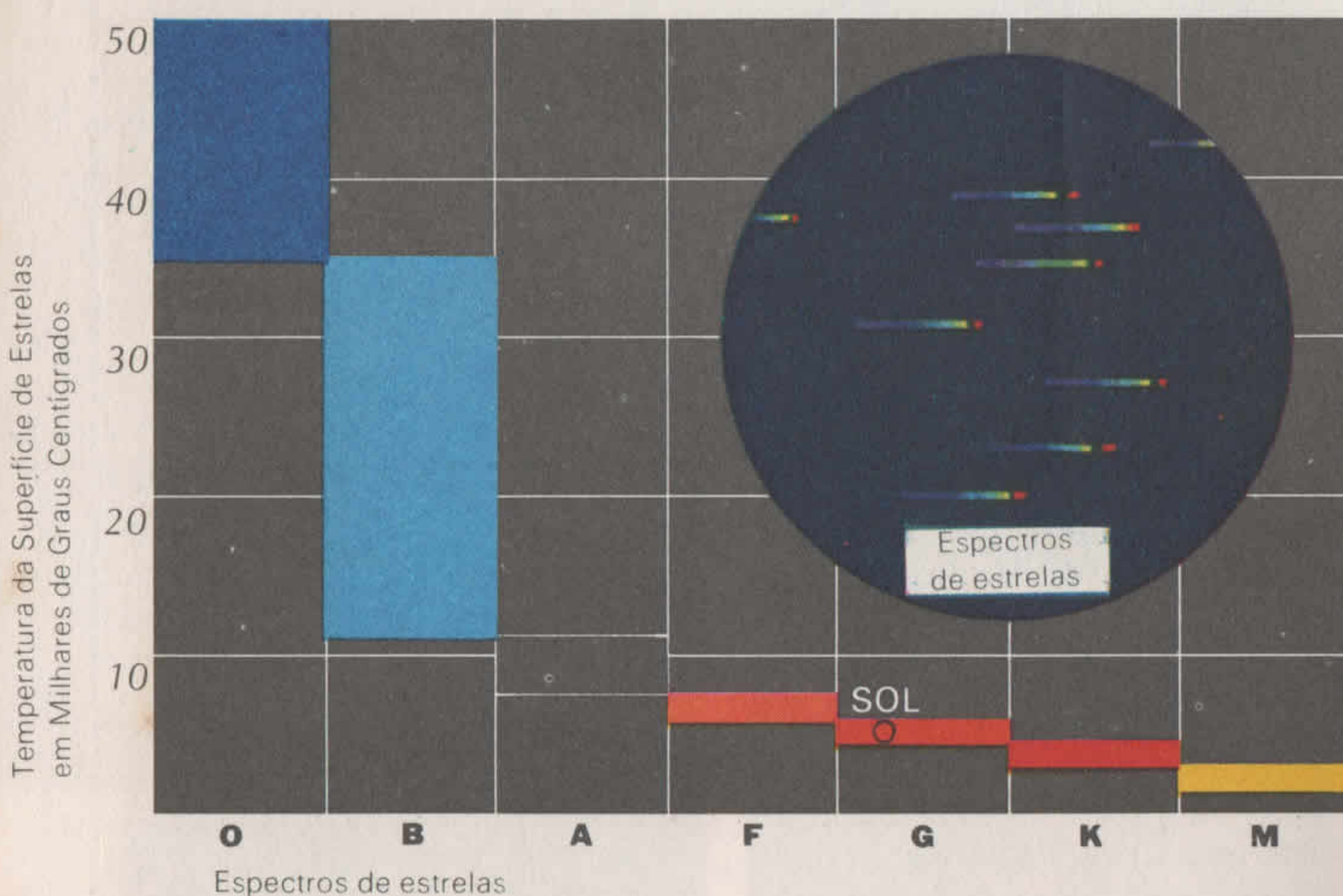




## Cor

As estrelas são globos incandescentes de gases em alta temperatura. A energia gerada no interior emerge na camada visível, chamada *fotosfera*, irradiando no espaço. São emitidos outros comprimentos de onda invisíveis, como raios infravermelhos, rádio, raios ultravioleta e raios X. Embora as estrelas irradiem energia em todos os comprimentos de onda, a temperatura de sua superfície difere em dezenas de milhares de graus. Estrelas semelhantes ao Sol têm temperaturas de 40.000 a 100.000 C e são azuis. As estrelas vermelhas são as mais frias, com temperaturas tão baixas quanto 2.000 C. As cores das estrelas indicam sua temperatura. Embora uma estrela vermelha tenha uma temperatura muito baixa comparada a uma azul, todas as estrelas são suficientemente quentes para vaporizar todas as substâncias, incluindo os metais. Nas estrelas azuis, os átomos de hélio, de oxigênio e de nitrogênio são ionizados. As estrelas vermelhas de temperatura baixa são inativas, permitindo que os átomos permaneçam neutros e que formem moléculas como óxido de titânio.

A *espectroscopia*, a análise do espectro, proporciona muitas informações, incluindo a temperatura e a composição química das estrelas. Quando a luz é decomposta nas cores do espectro, observam-se linhas brilhantes e escuras que indicam a emissão e a absorção de energia da estrela, sua rotação axial e sua trajetória no espaço, bem como sua composição química, sua temperatura, sua massa e seu diâmetro. As estrelas são classificadas de acordo com seu *tipo espectral*, recebendo uma letra de identificação. Estrelas azuis de alta temperatura são do tipo O. As estrelas vermelhas são do tipo M. Em ordem decrescente de temperatura, os tipos espectrais são O-B-A-F-G-K-M. O Sol, do tipo G, é uma estrela de temperatura média.

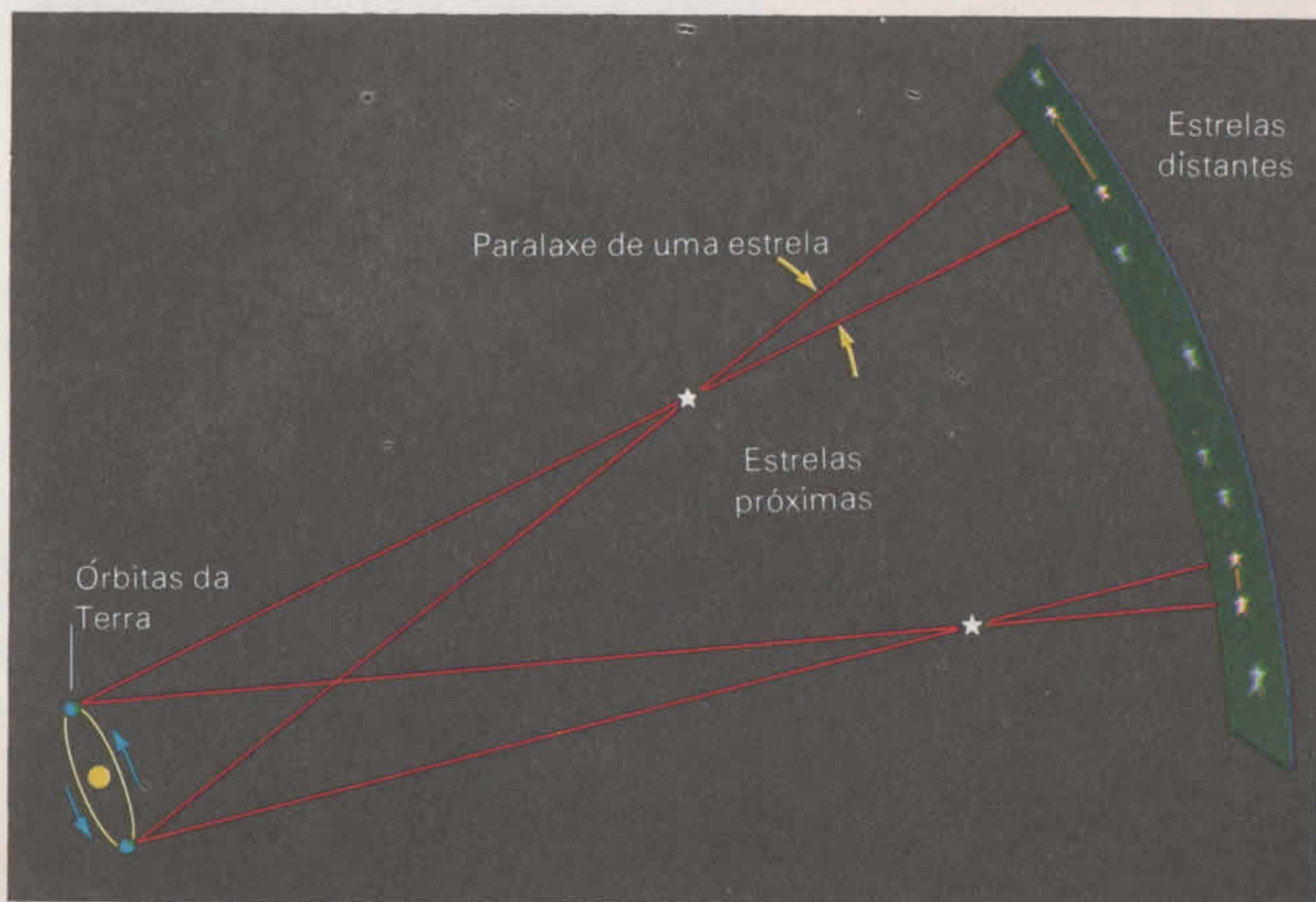




## Distância

As estrelas estão a distâncias tão grandes que mesmo as que ficam mais perto além do Sol não podem ser ampliadas num disco pelos telescópios mais potentes. No sistema solar, as distâncias são medidas em milhões de quilômetros ou em unidades astronômicas. As distâncias das estrelas são tão grandes que medi-las em quilômetros, ou mesmo em unidades astronômicas, seria o mesmo que medir a circunferência da Terra em centímetros. A distância da Lua foi encontrada usando-se a *paralaxe lunar*, o deslocamento angular da Lua no céu, quando observado de duas estações na Terra (Ver p. 96). Assim também pode ser demonstrada a distância de uma estrela com a *paralaxe estelar*.

Infelizmente, as estrelas estão tão distantes que o ângulo feito de dois pontos da Terra é pequeno demais para ser medido. Para causar um deslocamento na posição das estrelas próximas, devem ser feitas observações dos lados opostos da órbita da Terra. A paralaxe estelar é o ângulo até a estrela feito pela unidade astronômica, a distância média entre a Terra e o Sol. Há 3.600 segundos num grau, no entanto, nenhuma estrela está suficientemente próxima para ter uma paralaxe de mesmo um segundo de arco. Um segundo de arco é a separação angular entre a Terra e o Sol quando observada de uma distância de cerca de 206,265 unidades astronômicas ou um *parsec* (uma paralaxe de um segundo). Há 3,2 *anos-luz* num parsec. Um ano-luz é a distância que a luz percorre num ano. A estrela mais próxima, Rigil Kentaurus (Alpha Centauri) tem uma paralaxe de 0",76 e uma distância de 1,3 parsecs, ou 4,3 anos-luz. A cerca de 30 parsecs, a paralaxe torna-se pequena e difícil de ser medida, por isso as estrelas mais distantes são medidas por outros métodos.





## Magnitude Absoluta

A magnitude absoluta não representa o brilho intrínseco de uma estrela. Uma estrela próxima de baixa luminosidade pode parecer mais brilhante do que uma estrela de alta luminosidade numa grande distância. Se todas as estrelas estivessem à mesma distância da Terra, uma comparação de sua magnitude aparente seria uma medida de seu brilho "real" ou intrínseco. Isto pode ser conseguido considerando-se todas as estrelas numa determinada distância. A *magnitude absoluta* de uma estrela é a magnitude aparente que teria numa distância de 10 parsecs. Como a maioria das estrelas acha-se a mais de 10 parsecs, a magnitude absoluta em geral é numericamente menor do que a magnitude aparente. Se Rigel (em Órion), por exemplo, estivesse tão próxima assim, seria 600 vezes mais brilhante. Sírius diminui de brilho, pois sua distância verdadeira é apenas 2,7 parsecs da Terra. Se o Sol estivesse a 10 parsecs, apareceria como uma estrela de quinta magnitude, dificilmente visível a olho nu. Uma comparação entre o Sol e Rigel é desconcertante, Rigel tem uma magnitude de  $-6,8$  a 10 parsecs. Tendo o Sol  $+5$  de magnitude, a diferença é de 11,8 magnitudes.

Outra comparação interessante é feita entre Deneb e Altair, duas estrelas do Triângulo de Verão. A magnitude aparente dessas estrelas é mais ou menos a mesma, com  $+0,77$  para Altair e  $+1,26$  para Deneb. A cor das estrelas também é mais ou menos a mesma. Se a magnitude aparente for a única preocupação, essas duas estrelas são semelhantes; mas a medida da paralaxe e da magnitude absoluta mostra as diferenças. Altair é uma estrela próxima, a apenas 5 parsecs de distância, ou a metade da distância padrão de 10 parsecs. Deneb está a quase 500 parsecs, ou seja, 100 vezes mais afastada no espaço. Assim, Deneb é quase 10.000 vezes mais brilhante do que Altair. Como suas cores e suas magnitudes aparentes. Deneb deve ser enorme, com um diâmetro muitas vezes maior do que o de Altair.

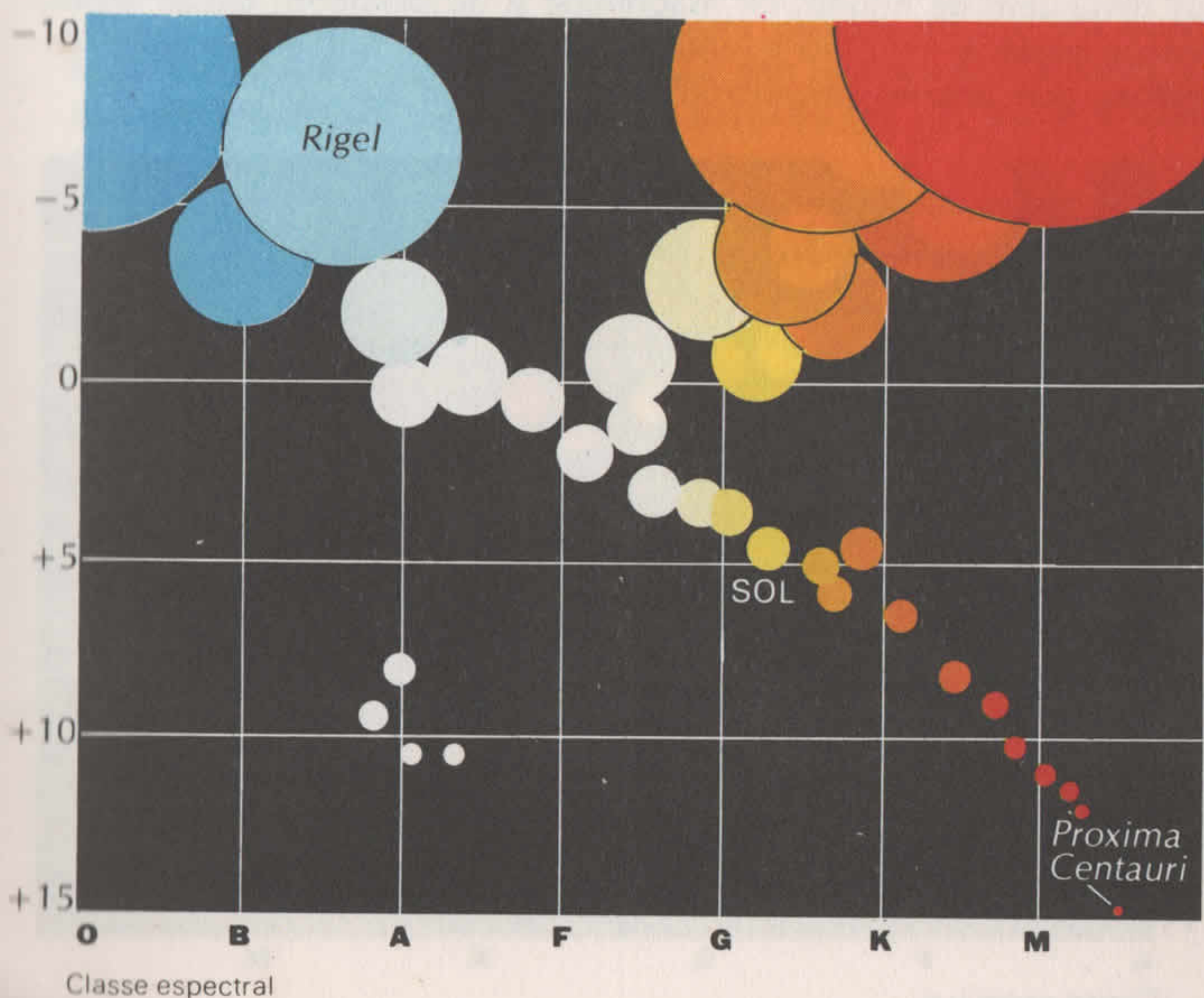
Afirmou-se anteriormente que a cor está relacionada com a temperatura. Uma estrela azul é muito quente enquanto que uma estrela vermelha é fria. A 10 parsecs, as estrelas azuis são mais brilhantes do que as vermelhas da mesma população ou tipo. Estas são as estrelas *gigantes azuis* e as *anãs vermelhas*. Por exemplo, embora Rigel, uma gigante azul, seja mais do que 50.000 vezes brilhante do que o Sol, é 500 milhões de vezes mais brilhante do que uma estrela anã vermelha chamada *Proxima Centauri*. Esta anã pertence ao sistema triplo de estrelas de Alpha Centauri e é agora a estrela mais próxima do Sol. Betelgeuse, a estrela vermelha de Órion, tem mais ou menos a mesma cor de Proxima Centauri. No entanto, a 10 parsecs, Betelgeuse é apenas uma magnitude mais fraca do que Rigel. Betelgeuse é enorme — uma *gigante vermelha* muitas vezes maior do que as estrelas azuis gigantes. As gigantes vermelhas estão entre as estrelas mais luminosas.



## Diagramando as Estrelas

Depois que se conhecem a cor ou a temperatura e as magnitudes absolutas, podem ser estudadas as semelhanças e as diferenças entre as estrelas. Anteriormente, Deneb foi comparada a Altair e Betelgeuse a Proxima Centauri. Verificou-se que Rigel é uma estrela extremamente luminosa. O Sol parece ter uma temperatura e um brilho médios. Para que a compreensão seja completa, muitas estrelas devem ser investigadas e classificadas.

No início deste século, dois astrônomos, Hertzsprung, da Dinamarca, e Russell, dos Estados Unidos, realizaram independentemente estudos comparativos das estrelas. Seus resultados foram representados graficamente no chamado diagrama de Hertzsprung-Russell um gráfico da temperatura e da cor de uma estrela em relação a sua magnitude absoluta ou luminosidade. A cor é designada pela classe espectral da estrela medida no eixo horizontal (abscissa) do gráfico. A temperatura mais alta está à esquerda (estrelas do tipo espectral O), enquanto que a mais baixa está à direita (estrelas do tipo espectral M). O eixo vertical (ordenada) também a medida da magnitude absoluta, com as estrelas mais luminosas, com magnitudes negativas, no alto, diminuindo para as magnitudes positivas no fim da escala. Uma estrela amarela semelhante ao Sol, tipo espectral G2 e com magnitude absoluta + 4,8 estará no centro do gráfico. Rigel, do tipo espectral B8 e com magnitude absoluta - 6,8 estará localizada no canto superior esquerdo. Proxima Centauri, do tipo espectral M5 e com + 15 de magnitude absoluta, ficará no canto inferior direito do diagrama.

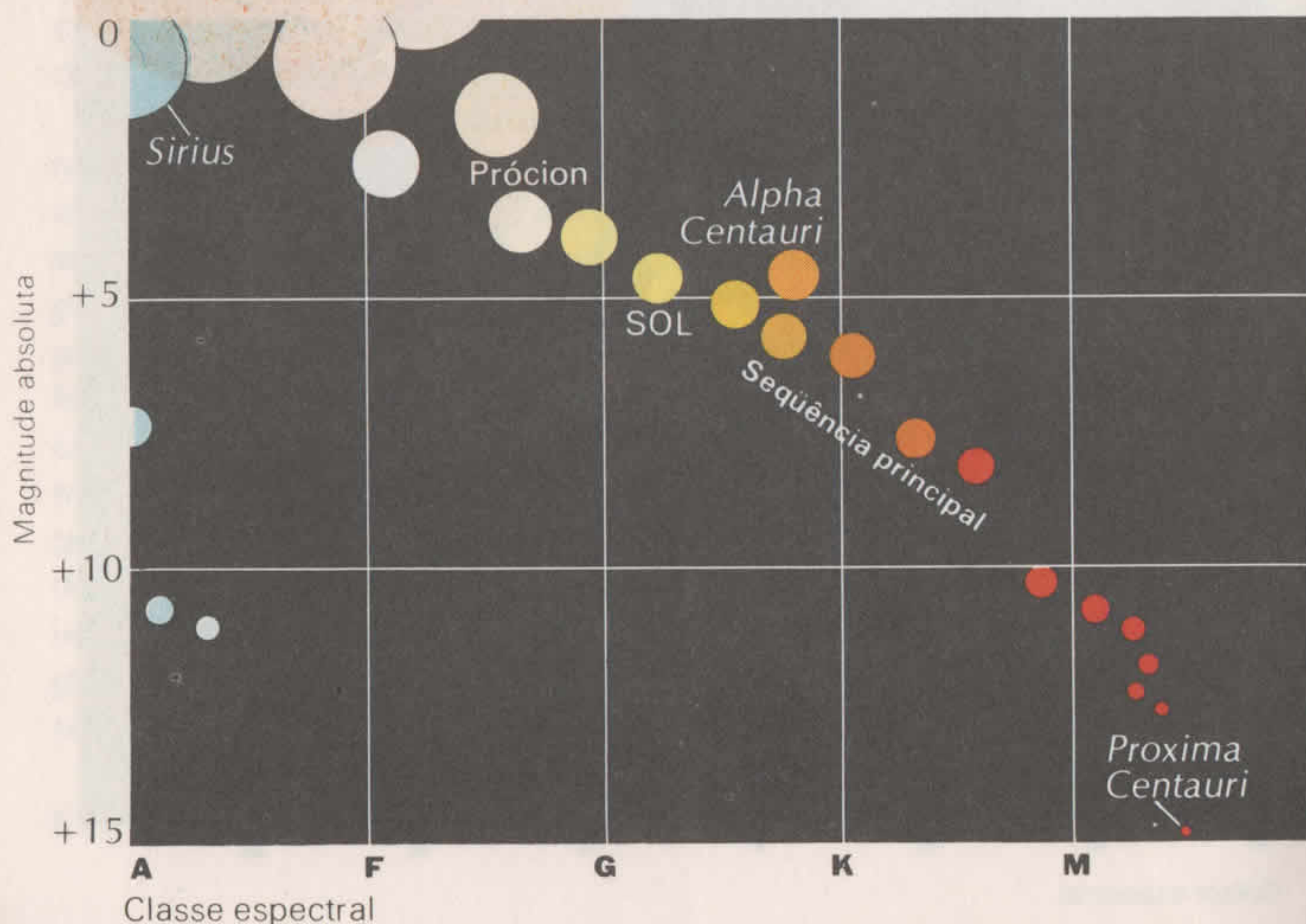




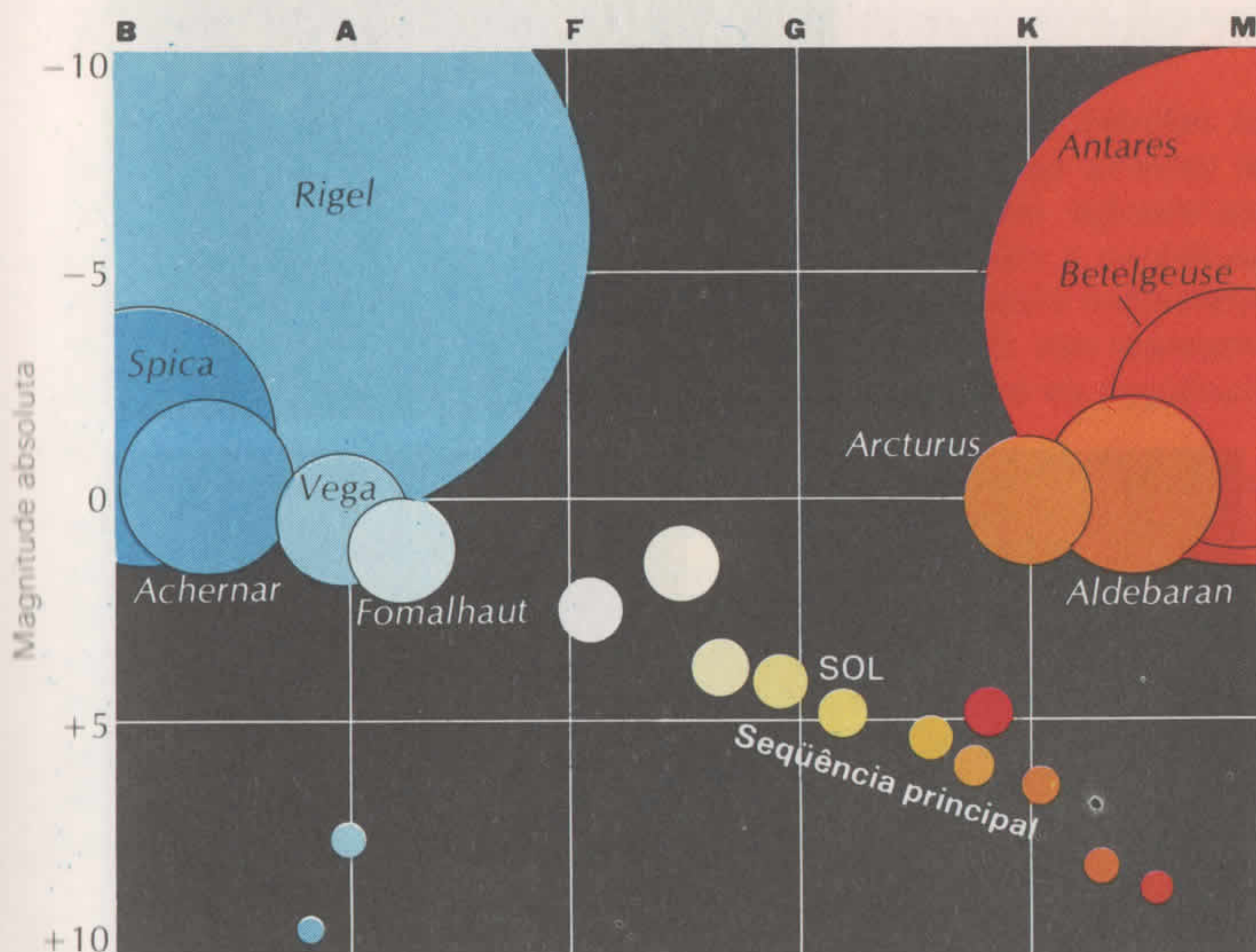
## Mais Próxima do Sol

Admitindo-se que o Sol se acha localizado numa região típica do sistema de estrelas, um exame de sua vizinhança fornecerá informações sobre as espécies de estrelas que são encontradas, como também sobre sua quantidade. Há cerca de 60 estrelas num raio de 5 parsecs do Sol. Se forem colocadas no diagrama de Hertzsprung-Russell, essas estrelas formam uma linha diagonal desde o centro do diagrama até o canto inferior da direita, com a maioria das estrelas do tipo M. Três destas estrelas, Alpha Centauri A, Sírius e Prócion, estão mais no alto do diagrama e, portanto, são mais quentes e mais luminosas do que o Sol. Alpha Centauri A é a mais brilhante das três estrelas que compõem o sistema triplo de Alpha Centauri. As componentes B e C (Próxima) são mais fracas do que o Sol. Mais do que 50% das estrelas mais próximas são do tipo M, com magnitudes numéricas altas entre +10 e +15. Essas estrelas são frias e fracas sendo pequenas, não muito maiores do que Júpiter. Elas são chamadas de *anãs vermelhas*.

Evidentemente, a maioria das estrelas da Via-láctea são pequenas, com o Sol se destacando substancialmente. Alpha Centauri A é uma estrela amarela do tipo G, Prócion é do tipo F e branco-amarelada, enquanto que Sírius é uma estrela branca do tipo A. Sírius e Prócion têm companheiras estranhas, chamadas *anãs brancas*, que são estrelas do tipo A, menores e tão fracas quanto as anãs vermelhas. Sírius, uma estrela do tipo A, tem uma vez e meia o diâmetro do Sol e é duas vezes mais compacta. Sua companheira anã branca tem tanta massa quanto o Sol mas seu tamanho é mais ou menos o da Terra. Na seqüência principal (como é chamada a diagonal do diagrama de H-R), as estrelas diminuem de massa, de magnitude e de diâmetro, desde Sírius, branco-azulada, uma vez e meia maior do que o Sol, até as anãs vermelhas, com apenas um décimo do tamanho do Sol.







## As Estrelas Mais Brilhantes

As anãs vermelhas, com  $+10$  e  $+15$  de magnitude absoluta, são fracas demais para serem observadas sem auxílio óptico. Mas há várias estrelas vermelho-brilhantes, incluindo Betelgeuse e Antares, que estão distantes demais para serem vizinhas do Sol. Há estrelas alaranjadas, Aldebaran e Arcturus, que são brilhantes e também muito distantes. As estrelas alaranjadas perto do Sol são fracas e apenas visíveis.

Se as 20 estrelas mais brilhantes fossem colocadas no diagrama de H-R, a metade delas iria para a sequência principal, acima de Sírius, completando a população ao longo da linha diagonal. Essas estrelas da sequência principal incluem Vega, Achernar, Spica e Fomalhaut. A estrela gigante azul Rigel está ligeiramente para a direita, fora da sequência principal. As estrelas mais altas do que Sírius no diagrama são mais maciças, mais quentes e têm um diâmetro maior.

As outras estrelas mais brilhantes não pertencem à sequência principal. Betelgeuse é vermelha mas é também uma das estrelas mais luminosas, sendo colocada no diagrama de H-R acima da sequência principal, à direita. Betelgeuse é uma *supergigante vermelha*, uma estrela altamente brilhante com uma superfície radiante enorme. Gigantes alaranjadas, Arcturus e Aldebaran, ficam entre as gigantes vermelhas e a sequência principal. Há estrelas pulsantes, eruptivas e explosivas que ocupam posições distintas no diagrama.





## Aglomerados de Estrelas

Há duas classes gerais de aglomerados de estrelas, os *aglomerados galácticos* ou *abertos* e os *aglomerados globulares*. Os aglomerados galácticos são encontrados no plano da Via-láctea. As *Plêiades* e as *Híades* de Touro são aglomerados abertos bem conhecidos e familiares. No hemisfério sul, a *Caixa de Jóias*, no Cruzeiro, é um aglomerado famoso. Os aglomerados galácticos são esparsamente povoados e não têm condensação central. As Plêiades são dos mais conhecidos, com seis estrelas visíveis sem auxílio óptico e centenas que podem ser observadas num telescópio de campo rico.

Os aglomerados globulares são diferentes tanto na população quanto na localização na Galáxia. Esses aglomerados contêm estrelas que aumentam e diminuem de brilho em menos de um dia. São chamadas de estrelas RR de Lira e são usadas para medir as distâncias até os aglomerados. Além disto, há estrelas gigantes amarelas, alaranjadas e vermelhas. Geralmente, os aglomerados globulares formam um halo em redor do centro da Galáxia. Esta distribuição dos aglomerados e a presença de estrelas RR de Lira serviram para localizar o núcleo, o tamanho e a estrutura da galáxia, assim como a posição do Sol nos braços espiralados.

Em cima: M13, aglomerado globular em Hércules.

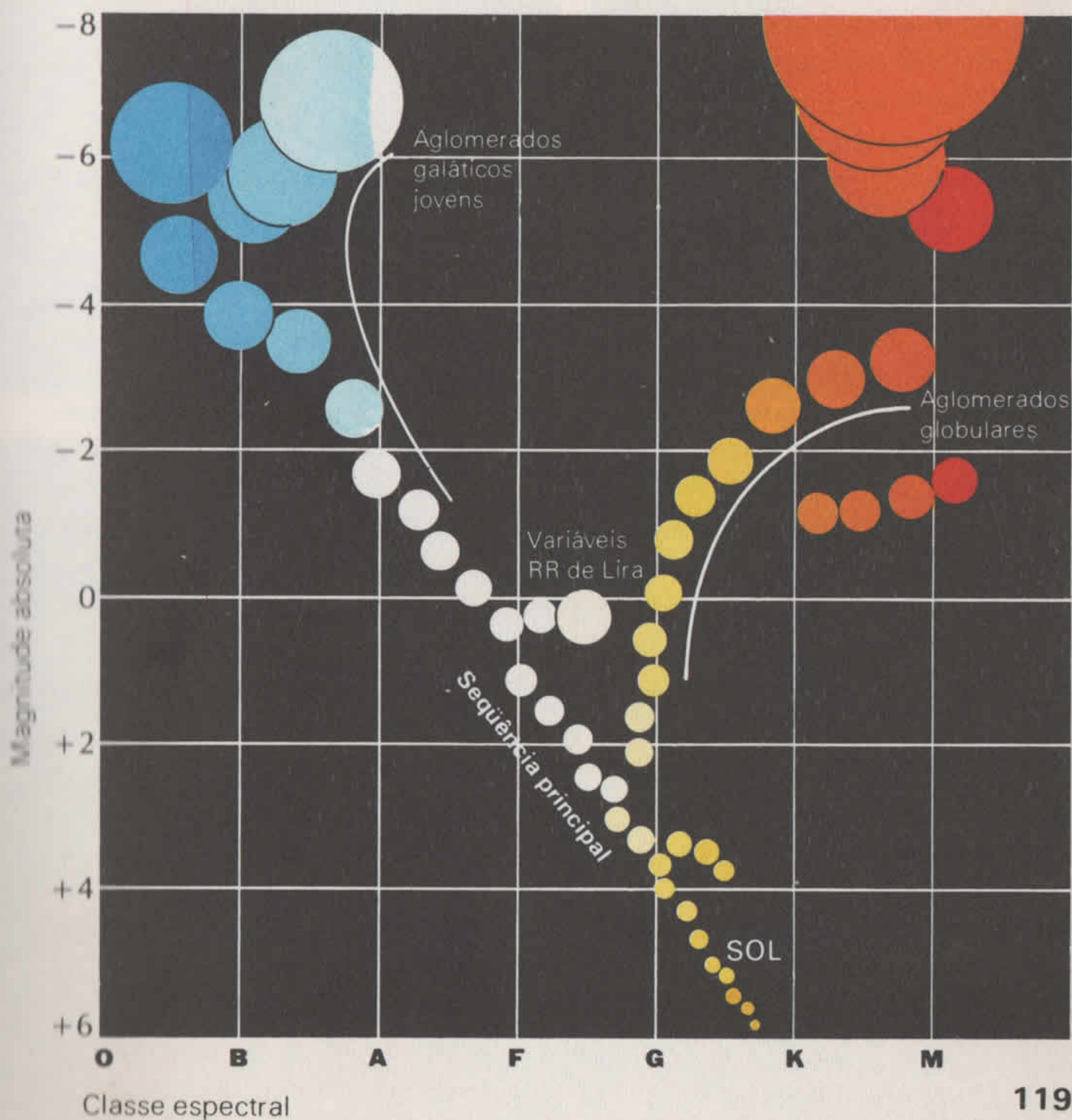
**118** Embaixo: M45, as Plêiades, um aglomerado aberto de estrelas em Touro.



## A Idade dos Aglomerados

Um aglomerado galáctico jovem será mais denso de estrelas do que um mais velho, nos quais o tempo permitiu que as estrelas se separassem. O esquema do diagrama de H-R de um aglomerado jovem apresenta a maioria das estrelas acompanhando a seqüência principal, com o ramo superior contendo as estrelas azuis inclinando-se para a direita. Quando os aglomerados mais velhos, são representados, uma quantidade maior de estrelas mais embaixo da seqüência principal moveu-se para o ramo gigante.

Um esquema de estrelas de aglomerados globulares mostra o ramo gigante mais desenvolvido. As estrelas abaixo de +4 de magnitude absoluta já deixaram a seqüência principal. A grande quantidade de variáveis nos aglomerados sugere uma evolução além do estágio gigante. A distribuição H-R das estrelas mostra uma curva pronunciada afastando-se da seqüência principal, em direção do canto superior da direita do ramo gigante. As estrelas continuam na direção das estrelas variáveis RR de Lira de tipo espectral A e com magnitude absoluta 0.





## Estrelas Pulsantes e Explosivas

As variáveis RR de Lira encontradas nos aglomerados representam uma classe de estrelas pulsantes, mas já se conheciam outras com variação de brilho muito antes da descoberta das variáveis dos aglomerados. *Mira*, uma estrela gigante vermelha de *Cetus*, é um exemplo de uma *variável de período longo*, levando cerca de 330 dias para completar seu período, do máximo ao mínimo, e novamente para o brilho máximo. *Mira* ("A Maravilhosa") é fraca demais para ser vista cerca de cinco meses, durante a magnitude mínima. Na máxima, a estrela cresce para a terceira magnitude e é visível por cerca de seis meses. Esta periodicidade foi registrada pelo astrônomo alemão Fabricius em 1596. Em 1784, um inglês, Goodricke, observou que a estrela Delta da constelação de Cefeú variava de brilho num período de 5-26 dias. Delta é o protótipo de uma classe de variáveis chamadas de *cefeidas variáveis*, que têm períodos entre um e 50 dias. Em 1912, a astrônoma norte-americana Henrietta Leavitt descobriu uma relação entre o período de uma cefeida e sua luminosidade. Com a luminosidade conhecida, suas magnitudes absolutas estendem-se de  $-1,5$  a  $-5$ , o que significa que têm brilho suficiente para serem vistas a distâncias grandes demais para serem medidas pelo método da paralaxe. As cefeidas pulsantes vistas além da Via-láctea servem de medida para as galáxias distantes.

Há estrelas chamadas *nebulosas planetárias* com cápsulas de gases em expansão. No telescópio, essas cápsulas têm a aparência do disco de um planeta. O envoltório de gás em redor da estrela central foi emitido não mais do que alguns milhares de anos atrás. Antes do estágio planetário, a estrela pode ter sido uma supergigante vermelha, que tem um grande envoltório frio e um centro quente.

Outras estrelas chamadas *novas* explodem de repente, brilham até cerca de  $-9$  absoluta e gradualmente voltam à sua magnitude pré-nova. A explosão de uma *supernova* é muito mais espetacular, pois o brilho da estrela pode aumentar até  $-20$  de magnitude absoluta. Já foram observadas várias novas famosas. Em 1054, os chineses registraram uma supernova em Touro, que agora aparece como uma massa caótica de gases, chamada de Nebulosa de Caranguejo (Ver p.124).

## Poeira de Estrelas e Nuvens de Gás

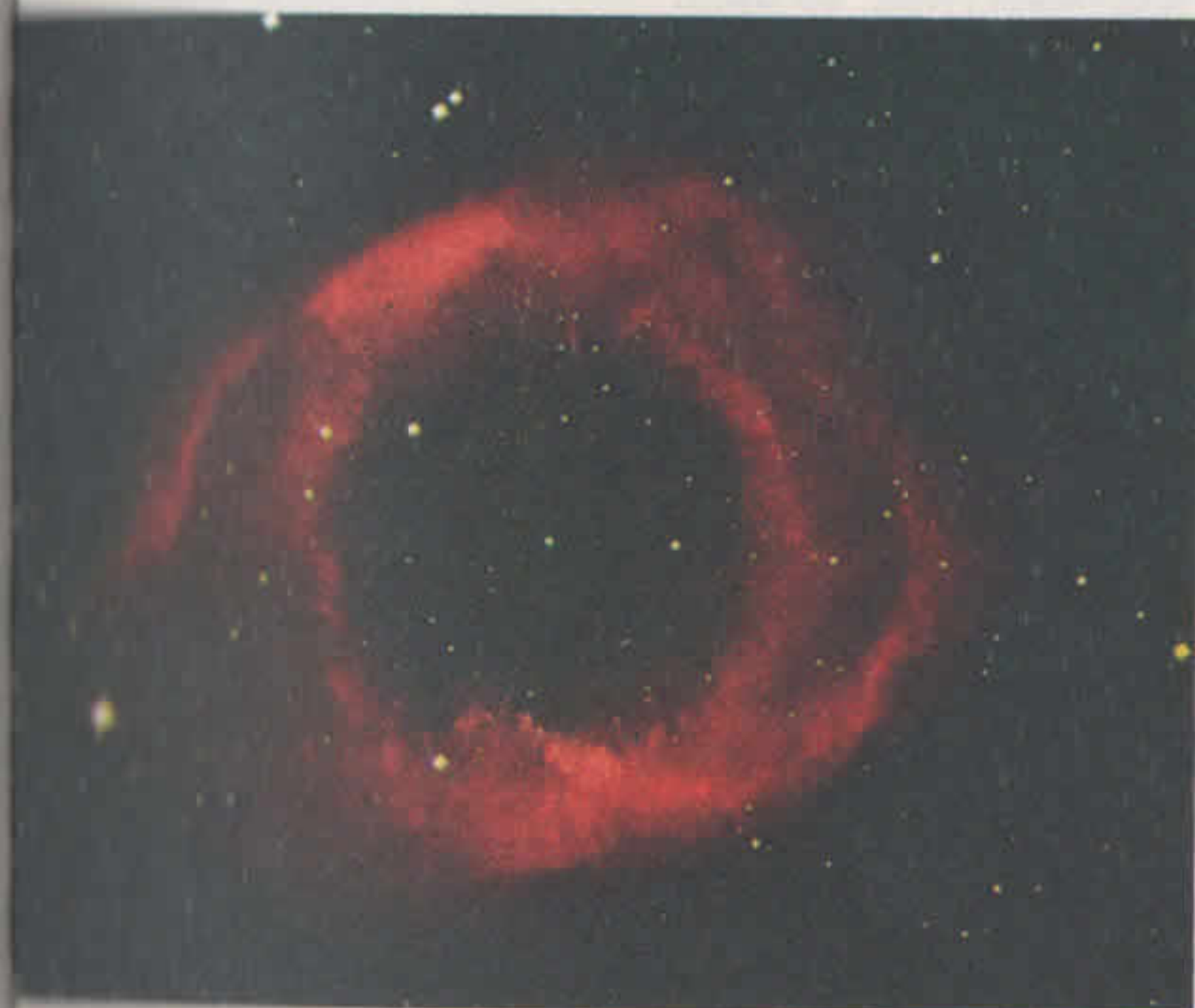
A *Grande Nebulosa de Órion* é o melhor exemplo conhecido de uma nebulosidade brilhante e irregular. A olho nu, parece uma mancha enevoadada na espada do Caçador, ao sul das três estrelas que assinalam seu cinturão. No telescópio, os gases brilham com uma cor esverdeada, etérea. No centro dessa massa luminosa está o *Trapézio*, um aglomerado de estrelas quentes, recém-nascidas, responsáveis pela ionização que faz com que a nebulosa brilhe. Há também a *Nebu-*

Em cima, à esquerda: Nebulosa planetária NGC 7293 em Aquário; a estrela central está expelindo cápsulas de gás. Em cima, à direita: M42, Nebulosa de Órion; gases ionizados por estrelas quentes. Embaixo: As Plêiades, M45; luz das estrelas refletida pela nebulosidade em redor.



*losa da América do Norte*, em Cisne, e as nebulosas *Lagoa* e *Trífida*, em Sagitário, perto das nebulosas brilhantes, há passagens e brechas escuras, de formas irregulares e desprovidas de estrelas. São as nebulosas escuras que parecem estar ligadas e associadas com a nebulosidade brilhante. Estrelas do tipo O e B ionizam os átomos das nebulosas que, por sua vez, emitem radiação e brilham por fluorescência.

Cinco estrelas nas Plêiades estão cercadas por uma nebulosidade que tem a aparência de nuvens felpudas com longos filamentos. São as *nebulosas de reflexão*, que brilham pela reflexão da luz das estrelas em partículas sólidas muito pequenas. As nebulosas, que estão geralmente restritas ao plano da Via-láctea, acham-se associadas a estrelas jovens de classe espectral O e B que ainda estão na seqüência principal. Evidentemente, as nebulosas constituem a matéria-prima da qual nasceram as estrelas na galáxia. Na nebulosa de Órion, há estrelas cercadas por uma cápsula de gás hidrogênio original, indicando seu aparecimento recente.





## Evolução Estelar

Comparações entre fotografias recentes e anteriores da Nebulosa de Órion evidenciam a condensação de estrelas. A poeira e os gases acham-se associados às estrelas variáveis que mostram mudanças rápidas e irregulares no brilho. Acredita-se que sejam estrelas jovens surgidas recentemente da nebulosa de emissão. Uma estrela nasce quando parte da nebulosa se contrai, formando uma condensação central que emite energia gravitacional em forma de radiação. É acrescentado mais hidrogênio ao novo corpo, ou proto-estrela, que se torna opaco, impedindo a perda de energia para radiação. A contração faz com que a temperatura aumente e a densidade cresça até que haja um equilíbrio e que o hidrogênio novo não seja mais acrescentado à estrela. A proto-estrela continua a se contrair levando milhões de anos para alcançar o novo estágio evolucionário, que ocorre quando a temperatura no centro atinge milhões de graus, dando início às reações termonucleares. O hidrogênio da estrela é convertido em hélio com uma liberação de energia que irradia para o espaço. Dentro da estrela, dois prótons ou núcleos do átomo de hidrogênio juntam-se para formar um isótopo de hidrogênio pesado.

A quantidade de energia produzida pela massa está expressa na famosa fórmula de Einstein,  $E = mc^2$ , onde  $E$ , a energia, é igual em valor à massa convertida,  $m$ , multiplicado por  $c^2$ , a velocidade da luz ao quadrado. (A bomba de hidrogênio mostra uma reação nuclear semelhante, quando muito pouca massa produz uma grande quantidade de energia.) Diz-se agora que a estrela está "queimando hidrogênio". A proporção em que a energia é produzida depende da quantidade de hidrogênio presente por ocasião do nascimento da estrela. Uma estrela gigante azul com alta temperatura irá consumir mais hidrogênio num período de tempo mais curto do que uma estrela amarela menor, mais fria, com as proporções do Sol. O Sol "queima" hidrogênio numa proporção maior que uma estrela anã vermelha pequena.

## A Criação dos Elementos

Chegará finalmente a época em que a estrela converteu todo seu hidrogênio disponível em hélio. Isto ocorre mais cedo em estrelas do tipo O e B do que no Sol, e mais tarde em anãs vermelhas do tipo M. As gigantes azuis esbanjam seu suprimento de hidrogênio e não podem permanecer na seqüência principal por mais do que alguns milhões de anos. As anãs vermelhas, menos densas, convertem hidrogênio mais lentamente, atingindo 15 bilhões de anos. A permanência do Sol na seqüência principal é calculada em cerca de 10 bilhões de anos. Como se acredita que o Sol tenha 5 bilhões de anos, ele já passou a metade de seu tempo de duração.





Os esquemas de H-R de aglomerados de várias idades mostraram que as estrelas mais luminosas são as primeiras a deixar a seqüência principal, com as vermelhas gigantes aparecendo em seu lugar. Quando o hélio atinge cerca de 12% da massa total da estrela, o núcleo contrai, aumentando a densidade, a pressão e a temperatura. A luminosidade da estrela também cresce e ela passa a requerer uma área de superfície maior para irradiar energia para o espaço.

As gigantes vermelhas tornam-se cadinhos para a síntese dos elementos pesados. Agora, as temperaturas internas atingem 100 milhões de graus, o que é suficientemente quente para converter o centro de hélio em carbono. Em camadas sucessivas, a estrela queima carbono, hélio e hidrogênio. O processo continua enquanto o carbono é sintetizado em oxigênio, neônio e magnésio, com cada elemento criado em sua própria esfera concêntrica em temperaturas crescentes. Finalmente, a estrela produz um centro de ferro, o elemento mais pesado, que é o último a permanecer estável sob temperaturas de centenas de milhões de graus. Durante este período de síntese do núcleo, a estrela move-se várias vezes no diagrama de H-R, em sentido horizontal, para a esquerda, e de volta ao estágio de gigante vermelha, um movimento que não é bem compreendido. A quantidade de estrelas variáveis RR de Lira nos aglomerados globulares indica que as estrelas passam uma época como variáveis de período curto depois do estágio gigante.

Para continuar sua evolução, as estrelas devem também perder o excesso de massa. Talvez a estrela se torne uma nebulosa planetária, abandonando suas camadas externas. Explosões mais violentas — como as observadas nas novas e nas supernovas — completam o processo. Elementos mais pesados que o ferro (como os elementos radioativos) são criados e soltos no espaço pela explosão. Depois, esses elementos pesados misturam-se com hidrogênio original para formar estrelas de segunda geração, semelhantes ao Sol. Os elementos pesados só podem ser produzidos dentro de uma estrela; assim, a Terra e os outros membros do sistema solar devem sua existência a esse processo evolutivo.

M1, a Nebulosa de Caranguejo em Touro, foi observada pelos chineses como a explosão de uma supernova, em 1054.



## Anãs brancas

Continuando o processo evolutivo, a estrela move-se inexoravelmente para o fim. Depois de desprender massa durante o estágio eruptivo, a estrela deve ter sua massa reduzida a 1,2 massas solares, ou menos ainda, para se tornar uma *anã branca*. Uma anã branca é uma estrela que já não pode se contrair para produzir energia radiante, pois todas as reações termonucleares já ocorreram em estágios anteriores. Uma camada externa fina, irradiante, proporciona a única energia radiante remanescente. Por fim, isto também cessa, sendo criada uma anã preta, que é o produto final da evolução estelar. O interior de uma anã branca é notável, pois é uma estrela com a maior parte dos elétrons despidos dos núcleos dos átomos: os elétrons estão livres mas acham-se mais juntos do que num átomo neutro. Esta substância chama-se *gás degenerado*, embora seja muito mais densa do que qualquer sólido encontrado na terra. Uma anã branca é composta de *matéria degenerada*. Ao contrário do esperado, uma estrela anã branca com uma massa solar terá um raio menor do que outra com apenas a metade da massa do Sol. O tamanho da estrela diminui ao aumentar sua massa. Se uma anã branca tiver uma massa de 1,2 vezes aquela do Sol, seu raio deve ser zero. As anãs brancas maiores têm cerca de duas vezes o tamanho da Terra com 0,2 de massa solar.

## Pulsares

Em 1967, foram registrados por astrônomos ingleses sinais de rádio rápidos com a regularidade de um relógio. Esses sinais, com períodos menores do que um segundo, vinham de estrelas que foram denominadas de *pulsares*. As pulsações indicam um objeto em rotação menor do que uma anã branca para ser capaz de girar tão rapidamente. O objeto responsável pelas pulsações é uma estranha *estrela de nêutron*, cuja existência fora prevista cerca de 40 anos antes.

Uma estrela de nêutron é mais densa do que uma anã branca e tem apenas alguns quilômetros de diâmetro. Numa estrela de nêutron, os elétrons foram impelidos para o núcleo do átomo, formando gás nêutronio, enquanto que a parte externa da estrela continua sendo uma camada rígida de nêutrons. O pulsar mais famoso foi encontrado na Nebulosa de Caranguejo em Touro, onde os chineses observaram uma supernova em 1054. Era difícil explicar a radiação de alta energia da Nebulosa de Caranguejo antes da descoberta do pulsar. Evidentemente, os pulsares constituem uma alternativa depois do estágio de nova. Uma estrela não pode se tornar uma anã branca se não for capaz de perder massa suficiente como nova, para reduzi-la a menos de 1,2 massas solares. Devido às contrações, a massa excessiva faz com que a estrela diminua de tamanho, ficando menor do que uma anã branca, com um diâmetro de cerca de 10 quilômetros.

Uma estrela em órbita com um buraco preto; os gases da estrela são atraídos para o colapsar, resultando em radiação de raio X, que identifica o objeto.

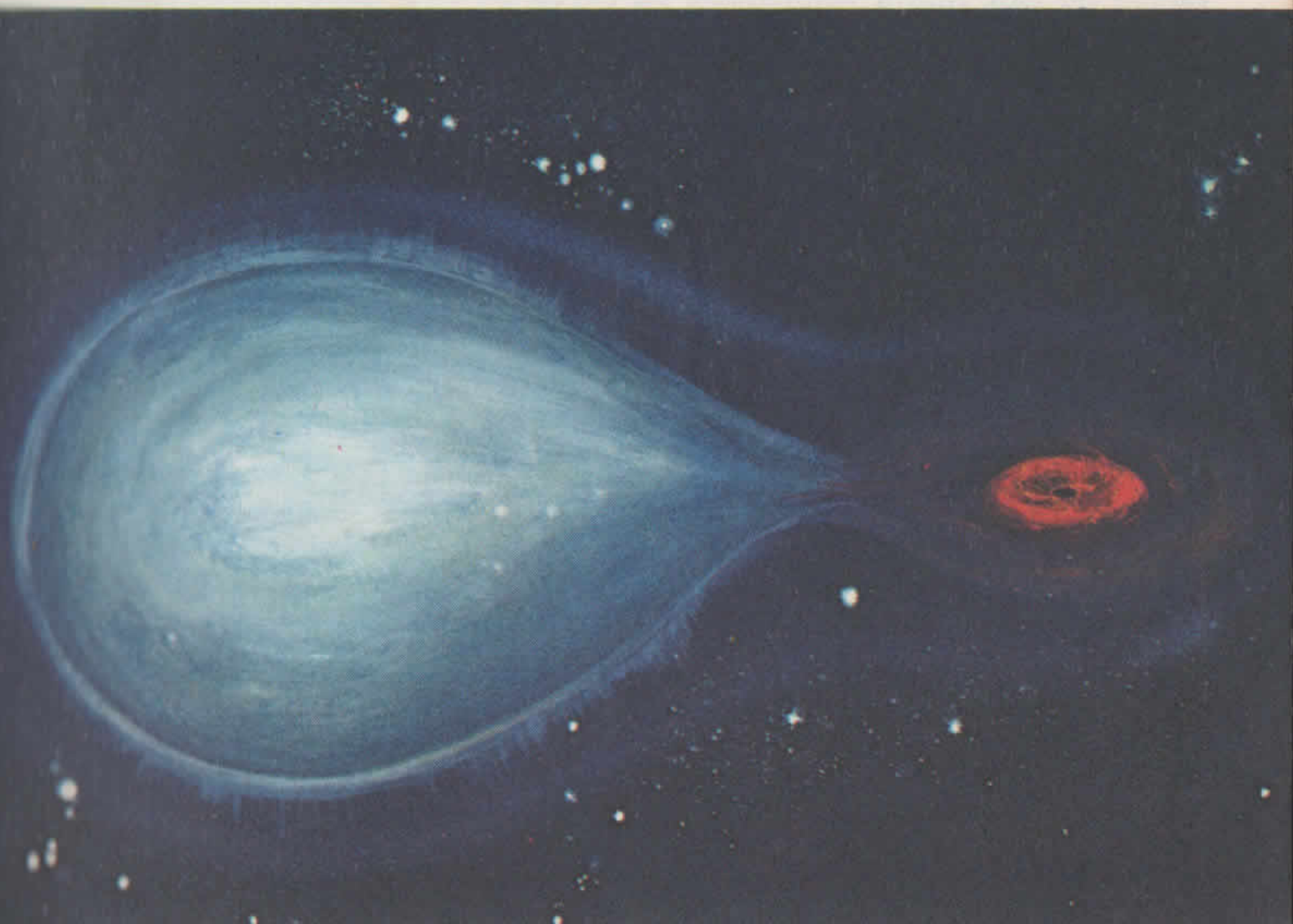


## Buracos Pretos

O terceiro estágio final possível de uma estrela denomina-se *buraco preto*. Cameron, um dos pesquisadores desse fenômeno, chamou esta estrela de *colapsar*. Se uma estrela tem mais do que duas vezes a massa do Sol antes do colapso, ela irá se contrair num objeto pequeno com uma massa tão grande que sua enorme força gravitacional não permitirá que a energia — mesmo a luz — escape. Além disto, toda a energia que vem detrás dela e toda a luz que cai nela serão absorvidas, tornando-a, não invisível — pois neste caso poderíamos ver os objetos do outro lado —, mas opacamente preta. Do lado de fora, remanescentes da estrela podem cercar o buraco preto como uma cápsula de partículas sólidas: do lado de dentro, nossos conceitos terrenos de espaço e de tempo são tão distorcidos que perdem seu significado.

A existência possível de buracos pretos foi prevista há quase 40 anos. Observações recentes convenceram os astrônomos de que algumas fontes de raios X detectadas por satélites em órbitas em redor da Terra podem ser os misteriosos colapsares. Foram observadas estrelas girando em redor de objetos invisíveis emitindo raios X e radiação infravermelha, agindo como os buracos pretos previstos.

Outro objeto é Epsilon Auriga, na direção de Capella, em Auriga. Epsilon é uma *binária eclipsante*; sua órbita, vista da Terra, faz com que as estrelas eclipsem uma à outra num período de 27 anos. O componente primário é uma estrela gigante amarela; o secundário é invisível e irradia raios infravermelhos. Esta estrela secundária é maior do que a órbita de Saturno e pode ser constituída dos resíduos sólidos de uma estrela girando em redor de um buraco preto. A estrela primária aquece as partículas em redor de colapsar, fazendo com que elas irradiem em comprimentos de onda além do alcance visível.





## UM UNIVERSO DE GALÁXIAS

### A galáxia

A *Galáxia*, ou *Via-láctea*, é uma espiral enorme de estrelas com 30.000 parsecs, ou 100.000 anos-luz de diâmetro. Fotografias da Via-láctea mostram uma estrutura complexa na direção de Sagitário. As estrelas são tão numerosas que suas imagens se sobrepõem na chapa fotográfica. Há muitas nuvens de estrelas como também nebulosas brilhantes e escuras, sinuosas e serpeantes. Os aglomerados globulares cercam a região como um halo, sugerindo a direção para o centro da Galáxia. Além de Sagitário, a Via-láctea aparece estriada com brechas de nebulosidade escura que acompanham o plano galáctico. Defronte de Sagitário, na região de Órion, a Via-láctea, embora menos pronunciada, é facilmente identificada pelas constelações mais brilhantes do céu.

A faixa contínua da Via-láctea que vemos da Terra, na verdade, é formada por três braços espiralados da Galáxia, que são separados. O braço de Sagitário fica entre o Sol e a região central que não pode ser observada fotograficamente; o Sol está localizado no braço de Órion, que contém as estrelas de Cisne e de Carena; adiante está o braço de Perseu, cerca de 2.000 parsecs do Sol. O braço de Sagitário também está cerca de 2.000 parsecs do Sol e o centro da Galáxia acha-se cinco vezes mais distante, ou seja, a 10.000 parsecs. No braço de Órion, o Sol está localizado perto da borda interna, enquanto que as estrelas brilhantes de Órion encontram-se numa formação parecida com uma espora na beira externa. A Galáxia inteira gira, na distância do Sol, numa velocidade de cerca de 275 quilômetros por segundo. Assim, será feita uma rotação em 200 milhões de anos. Ao contrário da roda, em que o cubo gira mais devagar do que a borda, as

A Via-láctea representa nossa Galáxia, que é composta de estrelas, de poeira e de gases. I

estrelas perto do centro movimentam-se mais rápido do que o Sol e as estrelas vizinhas, enquanto que as do braço de Perseu, de acordo com a Terceira Lei de Kepler, movem-se mais devagar. Contudo, as estrelas do centro, até cerca da metade da distância do Sol, giram como se fizessem parte de um sólido.

A estrutura espiralada pode ser observada com mais facilidade em fotografias e galáxias mais distantes. Na melhor das hipóteses, somente uma parte de alguns braços da Galáxia pode ser observada por telescópios ópticos ou por radiotelescópios. Opticamente, as estrelas brilhantes de classe espectral O e B delineiam os braços. Os radiotelescópios detectam radiação de radiofrequência de 21 cm, vinda da nebulosidade rica em hidrogênio neutro. As ondas de rádio podem penetrar nas nuvens de poeira e os radiotelescópios podem "ver" a Galáxia com mais profundidade do que os telescópios ópticos. Como as estrelas do tipo O e B estão associadas às nebulosas, astrônomos, usando telescópios ópticos e radiotelescópios juntos, traçaram os braços e determinaram a estrutura da Galáxia. Os radiotelescópios atingiram o núcleo, que parece ser uma bola de radiação altamente concentrada, com vários parsecs de diâmetro, assemelhando-se a uma estrela gigantesca. Em redor do núcleo há um halo de estrelas, mais concentradas na direção do centro, que se adelgaça à medida em que se aproxima dos braços externos. Este halo contém as estrelas conhecidas há mais tempo, incluindo os aglomerados globulares, as estrelas variáveis RR de Lira e as gigantes vermelhas. Os braços espiralados acompanham o plano da Galáxia e contêm estrelas jovens encravadas na poeira e nos gases das nebulosas. Acredita-se que gases procedendo do espaço intergaláctico e longe do centro fluam para o núcleo, para os braços espiralados, a fim de formar futuras estrelas. As estrelas de hoje estão destinadas a fornecer elementos pesados para a próxima geração que vai povoar a Galáxia.





## Satélites da Via-láctea

Além da Via-láctea, as galáxias mais próximas são duas agregações irregulares visíveis no hemisfério sul. São as *Nuvens de Magalhães*, nome do primeiro explorador que circunavegou o globo. As estrelas nas Nuvens são estrelas da seqüência principal, cercadas por poeira e gás, semelhantes às encontradas nos braços da Via-láctea. As galáxias estão a uma distância de cerca de 50.000 parsecs, ou uma vez e meia o diâmetro da Via-láctea. São satélites da Galáxia, mantidos pelo efeito gravitacional combinado de todas as estrelas. As distâncias até essas galáxias foram determinadas no início do século por Henrietta Leavitt, astrônoma de Harvard. Ela encontrou *estrelas ce-feidas variáveis* nas Nuvens de Magalhães, enquanto fotografava o céu do sul na estação da Universidade de Harvard, na África do Sul. A *relação período-luminosidade* que se desenvolveu dessas observações levou às determinações das distâncias. A massa total das galáxias pode ser avaliada depois que se conhecem sua distância e seu brilho. A Grande Nuvem de Magalhães é igual a 20 bilhões de sóis em massa, ou cerca de 10% da Via-láctea. A Pequena Nuvem de Magalhães tem uma massa igual a 2 bilhões de sóis. Há estrelas e gases formando pontes que ligam as duas nuvens entre si e também com a Via-láctea.

Embora a Grande Nuvem seja classificada de irregular, ela tem estrutura. Braços de estrelas estão situados simetricamente em cada extremidade de uma faixa pronunciada de estrelas que atravessa o centro, sugerindo que a Grande Nuvem é uma *espiral barrada*, semelhante a muitas outras encontradas além da Via-láctea. Há estrelas gigantes azuis, jovens e luminosas. Ao contrário da Via-láctea, nas Nuvens de Magalhães não há grandes populações de estrelas gigantes vermelhas velhas e de RR de Lira, acreditando-se, por isso, que tenham se desenvolvido mais tarde do que a Via-láctea e que tenham evoluído recentemente, perto da Galáxia e sob o controle gravitacional dela.







A Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães, duas galáxias irregulares satélites da Via-láctea. Ao lado: NGC 205, satélite elíptica da Galáxia de Andrômeda.



## Uma Galáxia Vizinha

Há uma grande galáxia espiral que pode ser observada a olho nu. Localizada na constelação de Andrômeda, a *Grande Galáxia* mede um grau de arco (duas vezes o ângulo feito pelo diâmetro da Lua cheia). Esta galáxia, chamada M31, tem uma estrutura semelhante à da Via-láctea. Em 1924, o astrônomo norte-americano Hubble anunciou a descoberta de estrelas variáveis na *Galáxia de Andrômeda* e, comparando as magnitudes aparente e absoluta das estrelas, calculou a distância da galáxia. Desde então, medidas mais precisas colocam a galáxia a cerca de 700 quiloparsecs, ou mais de 2 milhões de anos-luz de distância. Isto significa que a luz agora recebida da Grande Galáxia de Andrômeda, deixou o sistema estelar quando o homem surgiu na Terra, há mais de 2 milhões de anos.

Pelo telescópio, a galáxia brilha com um clarão nebuloso, sendo necessárias fotografias de longa exposição para destacar as estrelas individuais e os aglomerados. A região central contém um núcleo de estrelas vermelhas, semelhantes às gigantes vermelhas da Via-láctea.

A Galáxia de Andrômeda está inclinada cerca de 15° para a Terra, mostrando seus braços espiralados opostos envolvendo várias vezes o núcleo. Nuvens de poeira delineiam as bordas internas dos braços. Gigantes azuis luminosas estão enfileiradas como contas em associações estelares. Há duas galáxias satélites visíveis e talvez mais duas ainda não observadas, mas detectadas por radiotelescópios. As duas visíveis são do tipo elíptico e são diferentes das Nuvens de Magalhães, irregulares, que acompanham a Via-láctea. Esses satélites contêm estrelas velhas que estão cercadas por aglomerados globulares semelhantes ao núcleo de uma galáxia espiral.



Em cima: O núcleo de M31, a Galáxia de Andrômeda. Ao lado: A galáxia em Triângulo, M33, vizinha da Via-láctea.



## O Grupo Local

No universo, os objetos têm tendência a se agrupar, começando com os planetas do sistema solar até os aglomerados de estrelas e as galáxias. A Via-láctea e a Galáxia de Andrômeda têm galáxias satélites. Juntas, essas duas espirais gigantes são nas extremidades opostas de uma agregação ainda maior com cerca de 20 galáxias chamada de *Grupo Local*. As dimensões do Grupo Local podem ser concebidas imaginando-se o diâmetro da Via-láctea (que é de 100.000 anos-luz) como a metade da distância entre a Terra e a Lua. Nesta escala, o diâmetro da Galáxia de Andrômeda seria o equivalente à distância da Lua; a própria galáxia estaria localizada num ponto no outro lado da órbita da Terra.

A maioria dos membros do Grupo Local estão associados com a Via-láctea ou com a Galáxia de Andrômeda. As exceções são duas galáxias pequenas, irregulares, que estão quase equidistantes dessas duas espirais gigantes. Há só mais uma espiral no Grupo Local. É a M33 de Triângulo, que está perto da M31, juntamente com seis galáxias elípticas menores. Duas vizinhas da Via-láctea descobertas recentemente são as Maffei I e II, elevando a nove o número total de galáxias associadas à nossa Galáxia. O movimento acompanha a gravitação e todas estas galáxias estão se movendo em redor de um centro de massa comum, localizado entre a Galáxia de Andrômeda e a nossa. A medida deste movimento permite-nos calcular a massa total do sistema: o Grupo Local tem uma massa equivalente a 500 bilhões de sóis.





## Várias Espécies de Sistemas Estelares

As galáxias do Grupo Local e mais distantes são classificadas de acordo com sua estrutura e com os tipos de estrelas que contêm. Hubble, que identificou M31 como uma galáxia espiral, planejou um esquema para agrupar as galáxias, mas este esquema é simples demais para incluir todas elas, não devendo, portanto, servir de sugestão para a maneira como as galáxias evoluem. As galáxias irregulares, juntamente com outros tipos incomuns, não estão colocadas no diagrama. Hubble agrupou as galáxias elípticas, de uma EO esférica a uma E7, com grande achatamento. Há dois tipos gerais de galáxias espiraladas, a espiral normal (S) e a espiral barrada (SB). Começando com braços espiralados bastante retorcidos, SO, as classes dividem-se em dois ramos de acordo com o tamanho relativo do núcleo e com o desenvolvimento dos braços. Uma espiral normal, como a M31 e a Galáxia, tem braços que começam num núcleo esférico e se abrem em redor do centro. Uma galáxia Sa tem um núcleo grande e braços bastante retorcidos. As espirais barradas têm um centro em formato de barra com os braços surgindo das extremidades desta barra. Seguindo a mesma classificação das espirais normais, uma SBa tem núcleo grande e braços firmemente retorcidos, uma SBc um centro pequeno e indefinido, braços pronunciados em redor do centro. As galáxias eclípticas, como os núcleos das espirais, contêm estrelas velhas que já completaram o estágio da queima de hidrogênio das estrelas da sequência principal. As galáxias irregulares e os braços das espirais são compostos de estrelas jovens cercadas por poeira e gás. As galáxias irregulares de estrelas jovens são extremamente raras, podendo se formar quando ocorrem concentrações incomuns de matéria original no espaço intergaláctico.

## Quasares

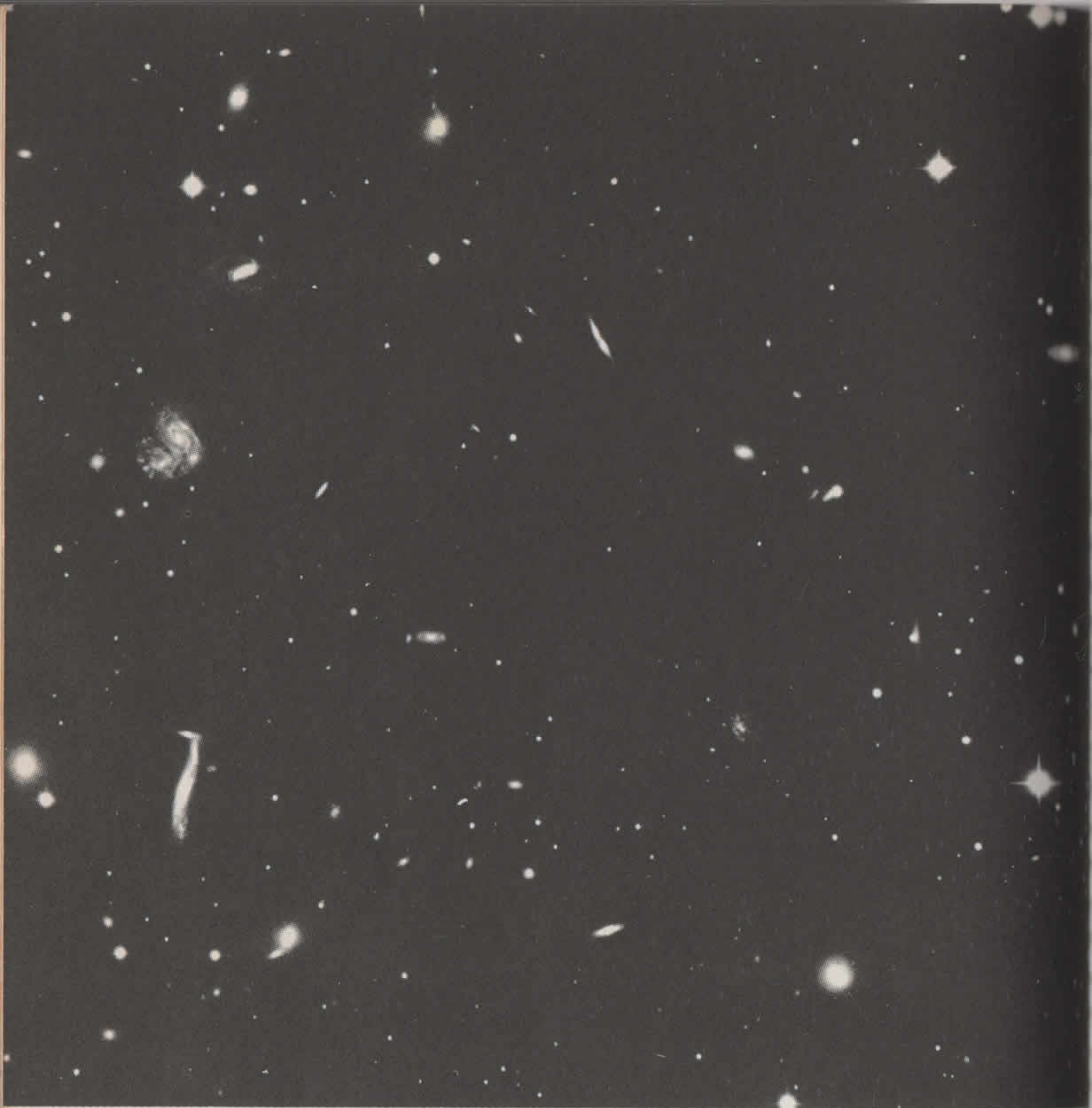
As galáxias de Seyfert têm centros extremamente brilhantes com braços espiralados semelhantes aos de outras galáxias. Se uma Seyfert estivesse localizada bem distante no espaço, apenas seria visível seu núcleo brilhante. Encontram-se semelhanças entre objetos sem braços, os chamados quasares, e as galáxias de Seyfert. Acredita-se que os quasares sejam os objetos mais distantes observados. Se assim for, eles têm mais de -23 de magnitude absoluta, com diâmetros de vários anos-luz — maiores do que a distância entre o Sol e as estrelas mais próximas. As galáxias de Seyfert e os quasares mostram semelhanças em observações visuais, infravermelhas e de rádio. Outras explicações sugerem que os quasares são fragmentos de uma explosão de uma bola de fogo original que criou o universo. Ou então, que os quasares explodiram fora do centro da Galáxia, eliminando assim a necessidade de explicar seu tamanho e sua enorme luminosidade.

Em cima: Galáxia espiral, Pégaso; Galáxia redemoinho, Canes Venatici. No centro: Galáxia explosiva, Ursa Maior; Galáxia espiral, Escultor. Embaixo: Quasar 3C-295, em Boötes.









## Aglomerados de Galáxias

Há outros aglomerados de galáxias numa distância de vários diâmetros do Grupo Local. Ao norte de Spica em Virgem, há uma região chamada de Reino das Galáxias. Nela se encontram vastas associações contendo milhares de galáxias, num dos maiores aglomerados conhecidos. Sua distância é de cerca de 40 milhões de anos-luz. O número de galáxias ali existentes atinge dezenas de milhares, com a maior concentração em direção da constelação de Virgem; o número de galáxias diminui ao se aproximar do Grupo Local. Pelo que parece, é a *supergaláxia local*, uma galáxia de galáxias em vez de estrelas. Nossa Galáxia, a Via-láctea, é uma entre dezenas de milhares que existem na borda de uma roda gigantesca de galáxias, cuja distribuição plana indica uma rotação em redor do centro. A supergaláxia local é apenas uma entre muitas, pois as investigações mostram outras na direção de Hidra e de Pavão. Os aglomerados de galáxias estendem-se no espaço em todas as direções, por muitos bilhões de anos-luz. Assim, podemos ver que o universo é composto de hierarquias de magnitude crescente, em movimento constante, num espaço inconcebivelmente grande.

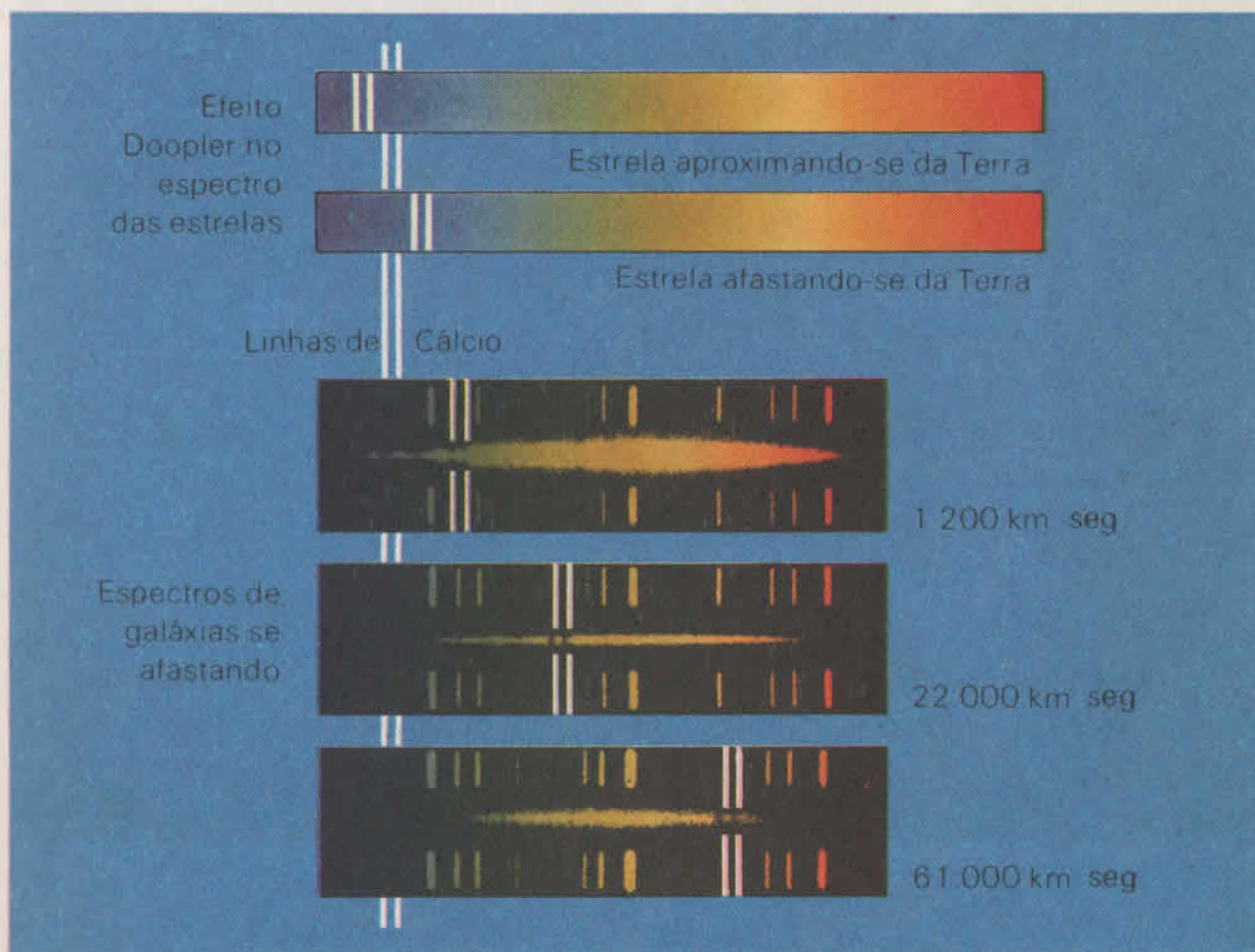
Em cima: Aglomerado de galáxias em Hércules; vêem-se vários tipos de galáxias, inclusive galáxias espirais colidindo.



## O Universo em Expansão

As distâncias para a M31 e para as outras galáxias próximas podem ser medidas pela observação das estrelas cefeidas e pela aplicação da relação período-luminosidade. As galáxias mais distantes requerem um método estatístico. Admitindo-se uma luminosidade média, o brilho da galáxia vai diminuir com a distância. Uma galáxia duas vezes mais distante do que outra terá um quarto do brilho. Esta relação é chamada de lei do quadrado inverso. Outro método para determinar a distância emprega o *efeito Doppler*. A luz das estrelas e das galáxias passa por um espectrógrafo que desdobra a luz num espectro das cores do arco-íris. A radiação do interior das estrelas é absorvida em suas atmosferas, fazendo com que certas linhas escuras apareçam em seus espectros. Se a estrela ou a galáxia está se aproximando da Terra, estas linhas escuras se deslocarão para o lado violeta do espectro; se a estrela está se afastando, as linhas parecerão deslocadas para o vermelho. O tamanho do desvio depende da velocidade da aproximação ou do afastamento.

Quando são examinados os espectros das galáxias além do Grupo Local, todos eles mostram linhas escuras deslocando-se para o vermelho, indicando afastamento. As galáxias mais fracas e mais distantes mostram um desvio vermelho maior do que as observadas mais perto do Grupo Local. Há uma relação direta entre a proporção do afastamento e a distância, chamada *lei de Hubble*. Se o desvio para o vermelho é um efeito Doppler, o universo está se expandindo, as galáxias estão se afastando umas das outras, aumentando assim as distâncias entre os sistemas estelares, o que sugere que em alguma época o universo foi menor, com as galáxias mais juntas.





## Criação Contínua

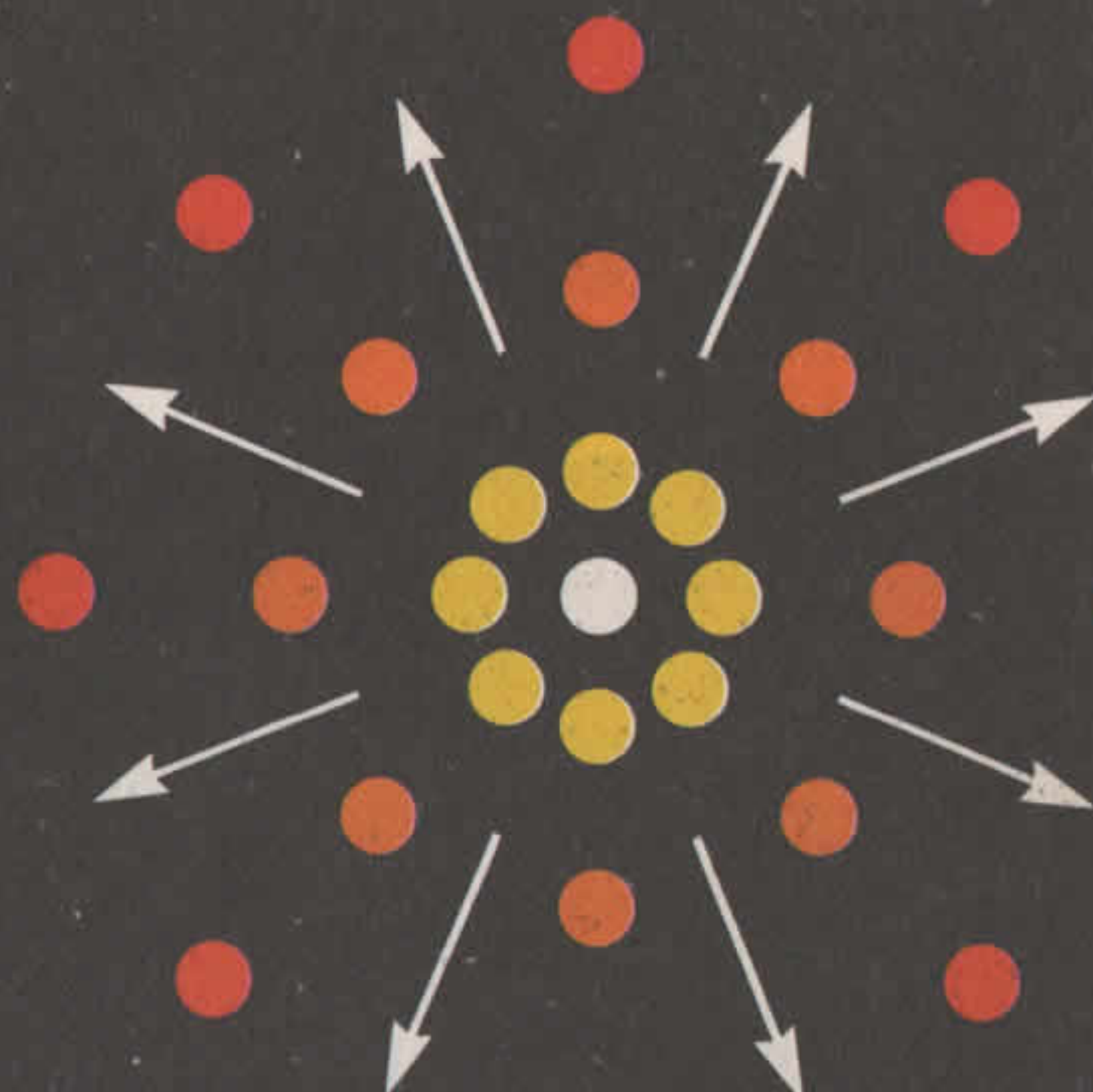
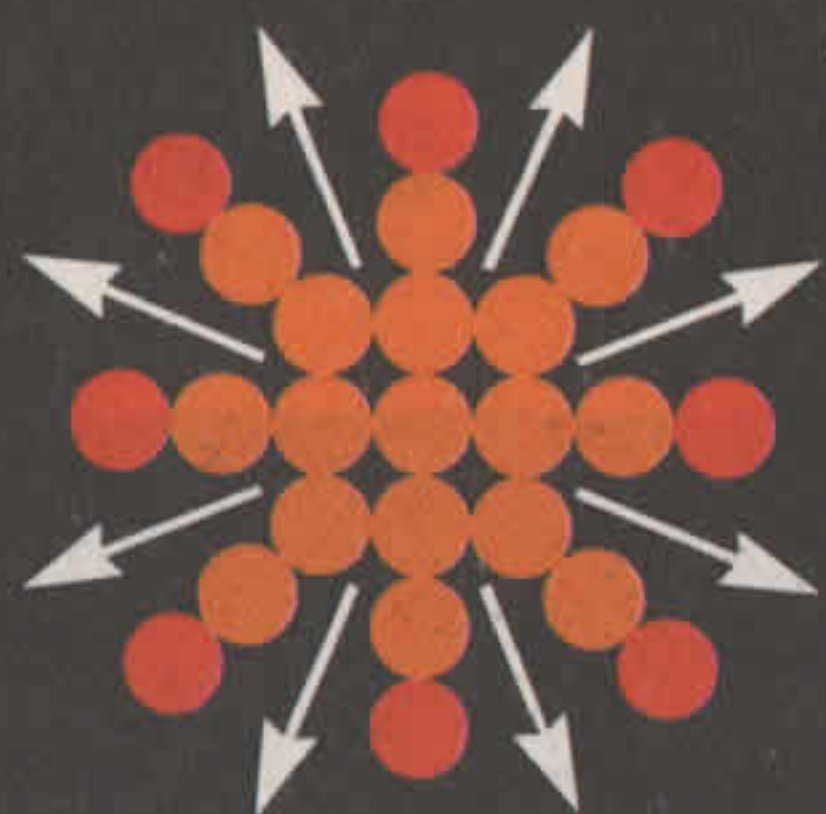
A hipótese do "estado constante" de Bondi, Gold e Hoyle tenta superar a dificuldade inerente à suposição de que o universo gaste toda a sua substância, introduzindo o conceito de *criação contínua*. Nela os átomos de hidrogênio originam-se espontaneamente entre as galáxias e este hidrogênio recém-criado vai se condensar em nuvens que formam as estrelas e as galáxias. As galáxias lançam-se no limbo, num universo em expansão, enquanto que, no espaço entre as galáxias, formam-se estrelas e novos sistemas estelares do hidrogênio recém-criado. O número de galáxias por unidade de volume permanece estável, ou num "estado constante". O universo sempre foi e sempre permanecerá o mesmo. As galáxias serão diferentes, mas a aparência do universo não mudará. As galáxias parecem estar se afastando umas das outras numa velocidade maior à medida em que aumenta a distância entre elas. Entretanto, há um limite teórico para o horizonte cósmico, pois no fim as galáxias mais afastadas estarão se expandindo na velocidade da luz. Além desta fronteira, o universo continua infinito fora do campo visual.



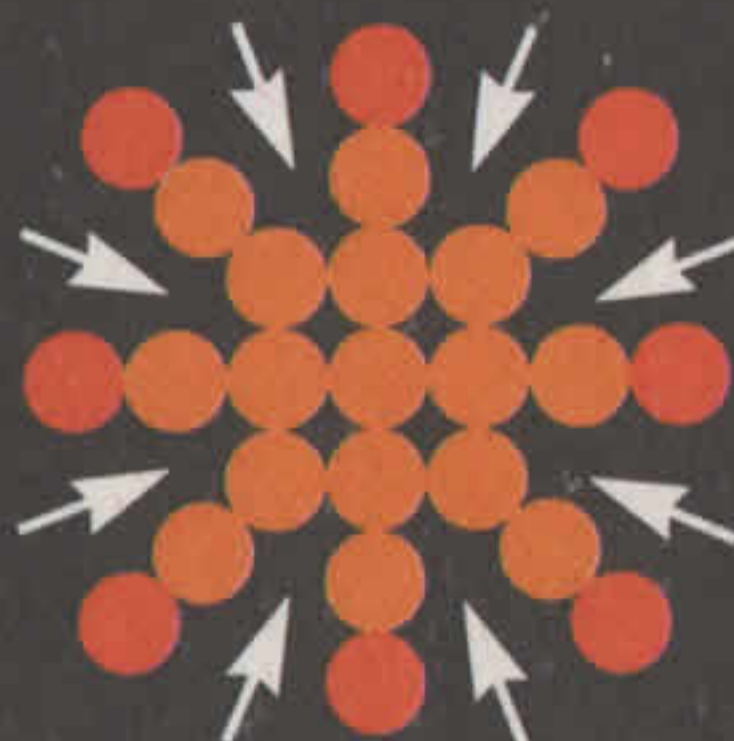
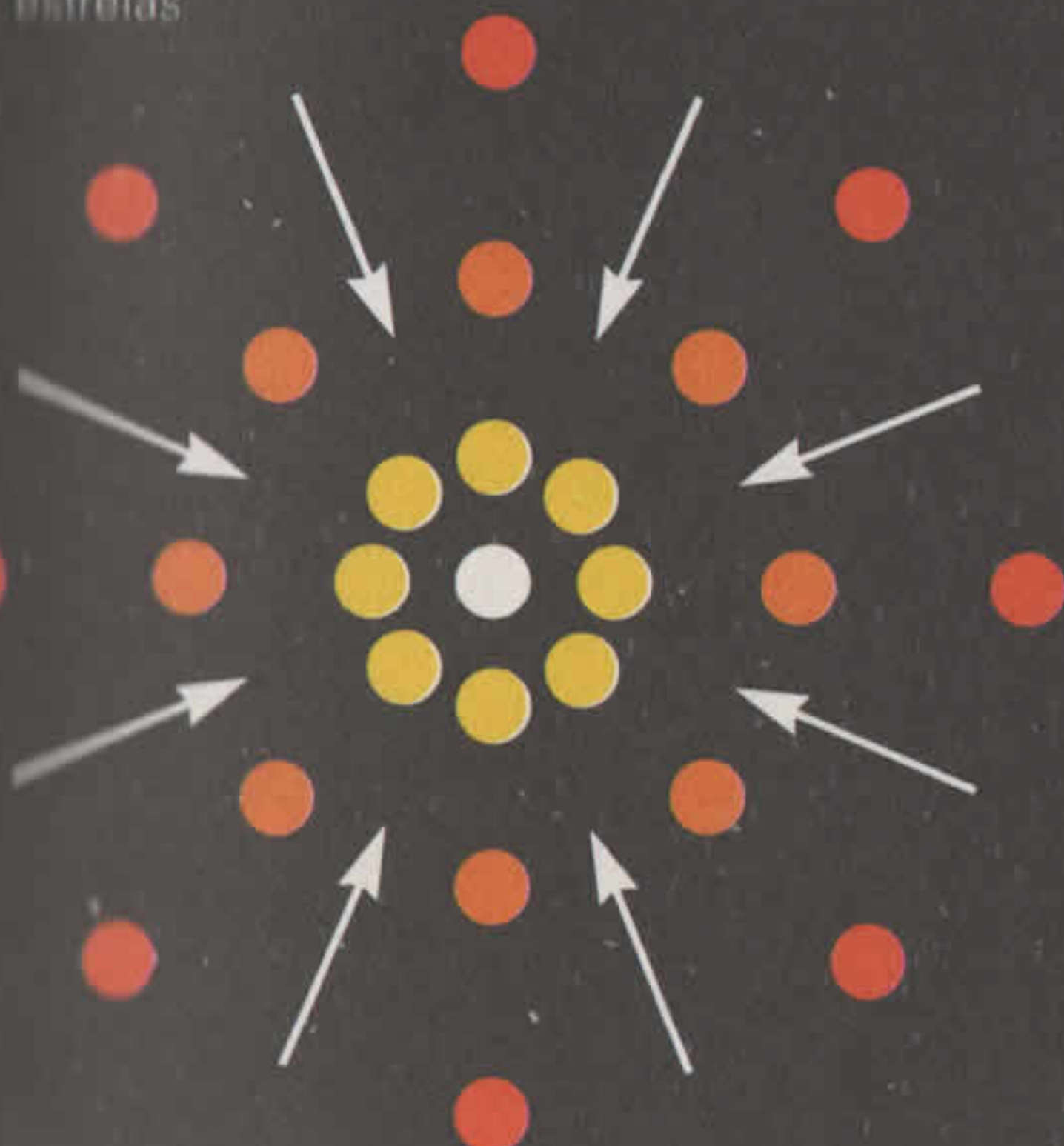


"Grande Estrondo"

Átomo primordial  
explode,  
formando novos  
elementos que  
se condensam em  
galáxias de  
estrelas



Galáxias atingem  
a distância máxima  
e se contraem  
novamente, criando  
novo átomo  
primordial.



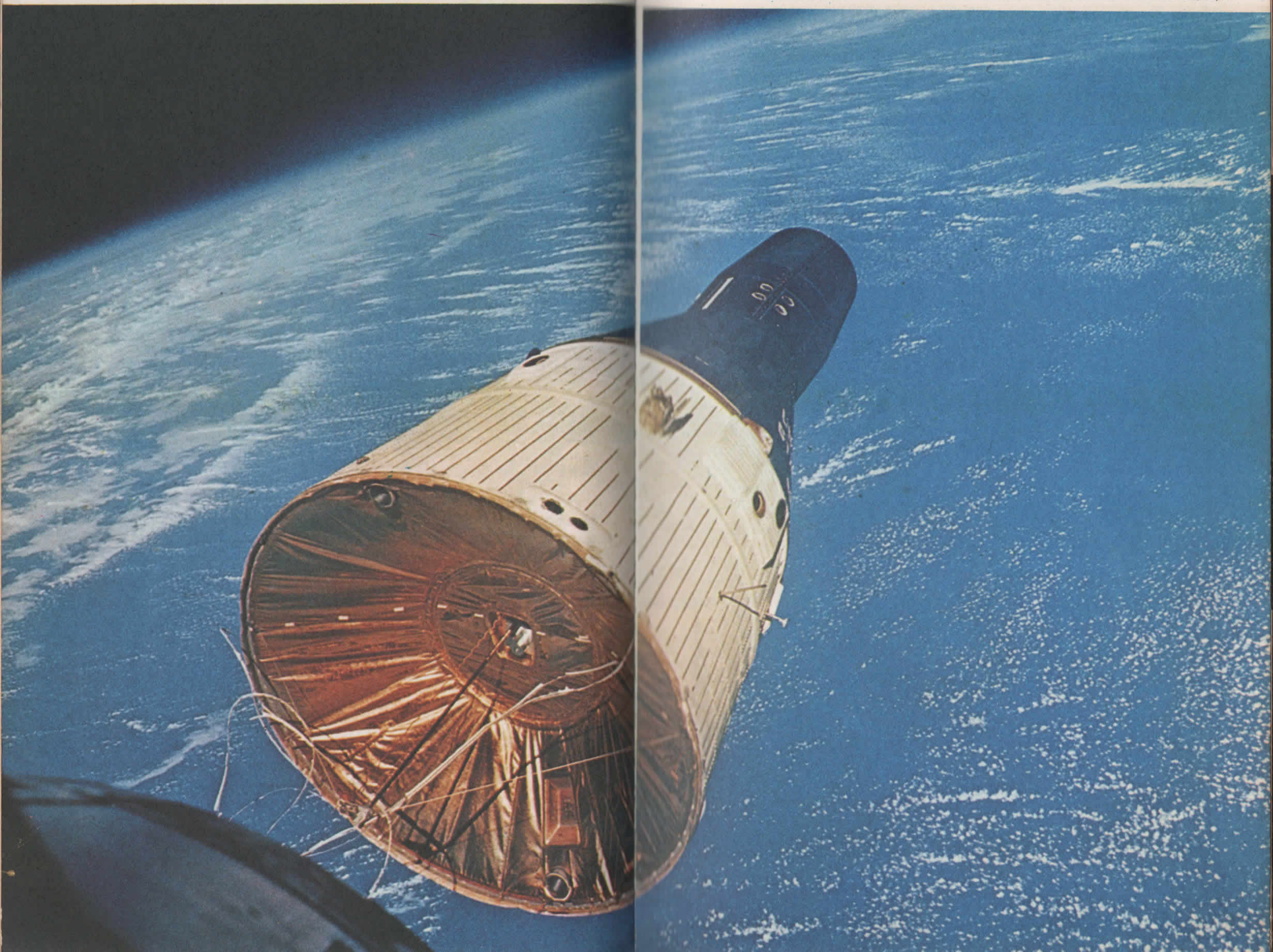
## Evolução do Universo

A origem do universo como um átomo primordial foi proposta por G. Lemaître há cerca de 50 anos. De acordo com a teoria de Lemaître, o universo começou com a explosão de uma pequena bola de energia, o que deu a esta hipótese o nome popular de "*o grande estrondo*". Em resumo, os elementos nasceram numa esfera em rápida expansão, formando estrelas e galáxias. O universo continua a se expandir enquanto as galáxias se afastam no vazio e irá se acabar quando toda a matéria e toda a energia se espalharem numa dimensão infinita. A expansão vai continuar? Apenas se o átomo primitivo estiver se expandindo numa velocidade de escape. Se não, como alguns sugerem, as galáxias atingirão uma distância máxima e começarão a se contrair novamente, formando um novo átomo de tamanho pequeno contendo toda a massa e toda a energia do presente universo. O processo se iniciará outra vez, com uma expansão que vai formar novas estrelas num universo de outra geração. Esta hipótese do universo oscilante afasta uma das objeções à teoria do "grande estrondo". A teoria do átomo primitivo pede um princípio do tempo, enquanto que a teoria do universo oscilante mantém que a matéria e a energia sempre existiram, alternando de um estado para o outro.



### 3ª Parte. A Exploração por Satélites

Gemini 7, com Frank Borman e James Lovell, fotografada da Gemini 6-A, com Walter Schirra e Tom Stafford, durante o primeiro encontro norte-americano no espaço.



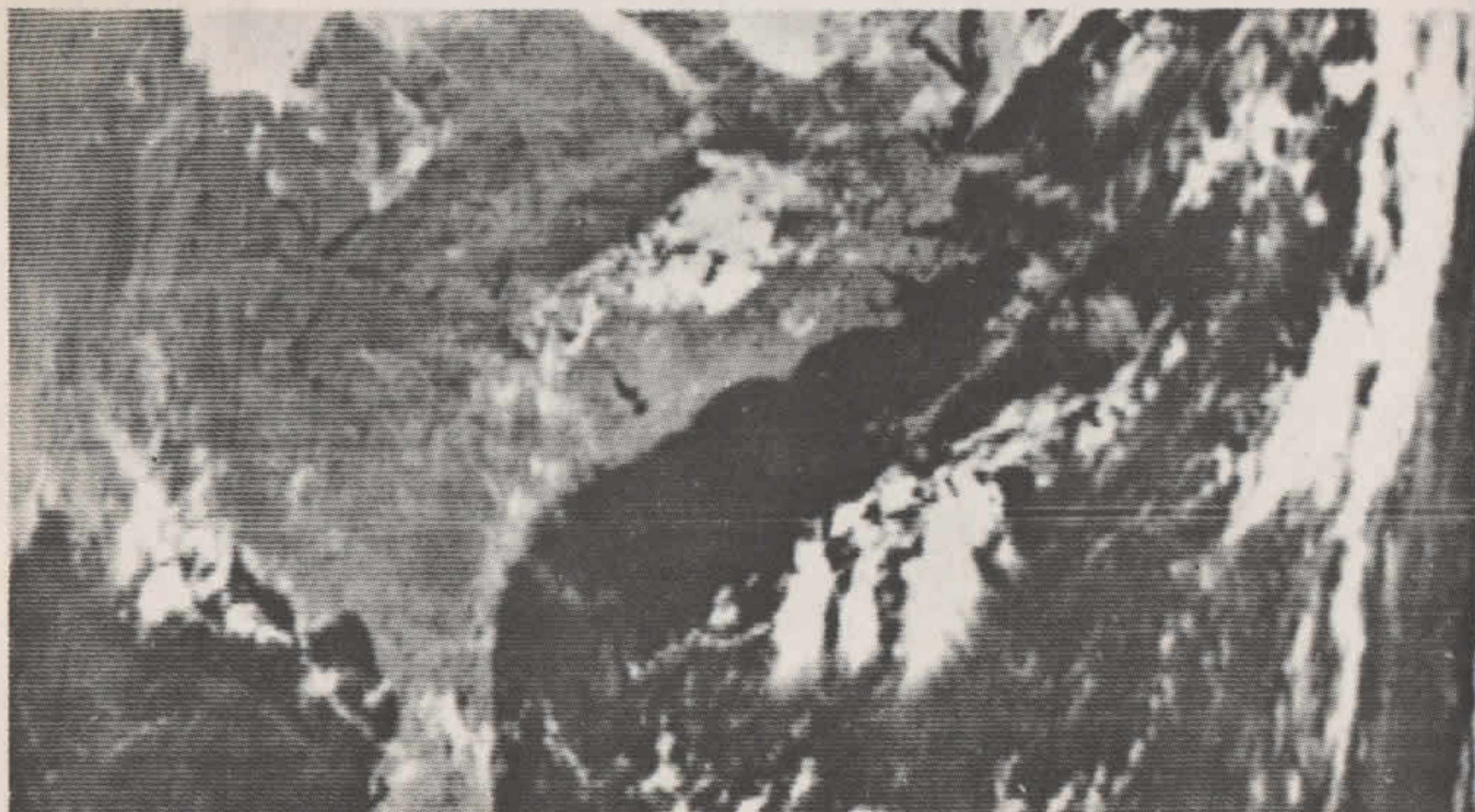


## EM REDOR DA TERRA

Durante o Ano Geofísico Internacional (1957-1958), as nações do mundo se reuniram para fazer um estudo científico em cooperação do planeta Terra. Uma das características do A.G.I. foi a decisão tomada pelos Estados Unidos e pela União Soviética de lançarem satélites artificiais para investigar a Terra em órbitas além da atmosfera. O *Sputnik I*, um satélite russo, foi o primeiro a atingir o espaço, em 4 de outubro de 1957. Era uma esfera com um diâmetro de 58cm e pesando quase 84kg. Circundando a Terra cada 90 minutos, o Sputnik I transmitia sinais da atmosfera superior (ionosfera) para estações na Terra. Antes do Sputnik I, as investigações ionosféricas limitavam-se a vôos de balões em grande altitude e a foguetes de sondagem. O Sputnik e os satélites artificiais que se seguiram introduziram uma nova era na exploração da Terra e do espaço. O primeiro satélite norte-americano, chamado *Explorer I*, colocado em órbita em 31 de janeiro de 1958, descobriu o *cinturão de radiação Van Allen* interno, situado 2.900 quilômetros acima da Terra.

## Meteorologia

Os satélites contribuíram muito para a meteorologia e para a previsão do tempo. O primeiro, *Tiros I*, entrou em órbita em 1 de abril de 1960. Numa órbita quase circular a cerca de 724 quilômetros de altitude, Tiros I fotografou a cobertura de nuvens da Terra com uma câmara de TV vidicon e transmitiu para estações na Terra onde as imagens eram reproduzidas por sinais. Pela primeira vez, uma visão global da estrutura de nuvens pôde prenunciar a aproximação de furacões e de tufões. Em agosto de 1964, o *Nimbus*, muito maior e muito mais complexo, estava em órbita fazendo explorações com um radiômetro infravermelho, que transmitia instantaneamente informações sobre a cobertura de nuvens do lado escuro da Terra.

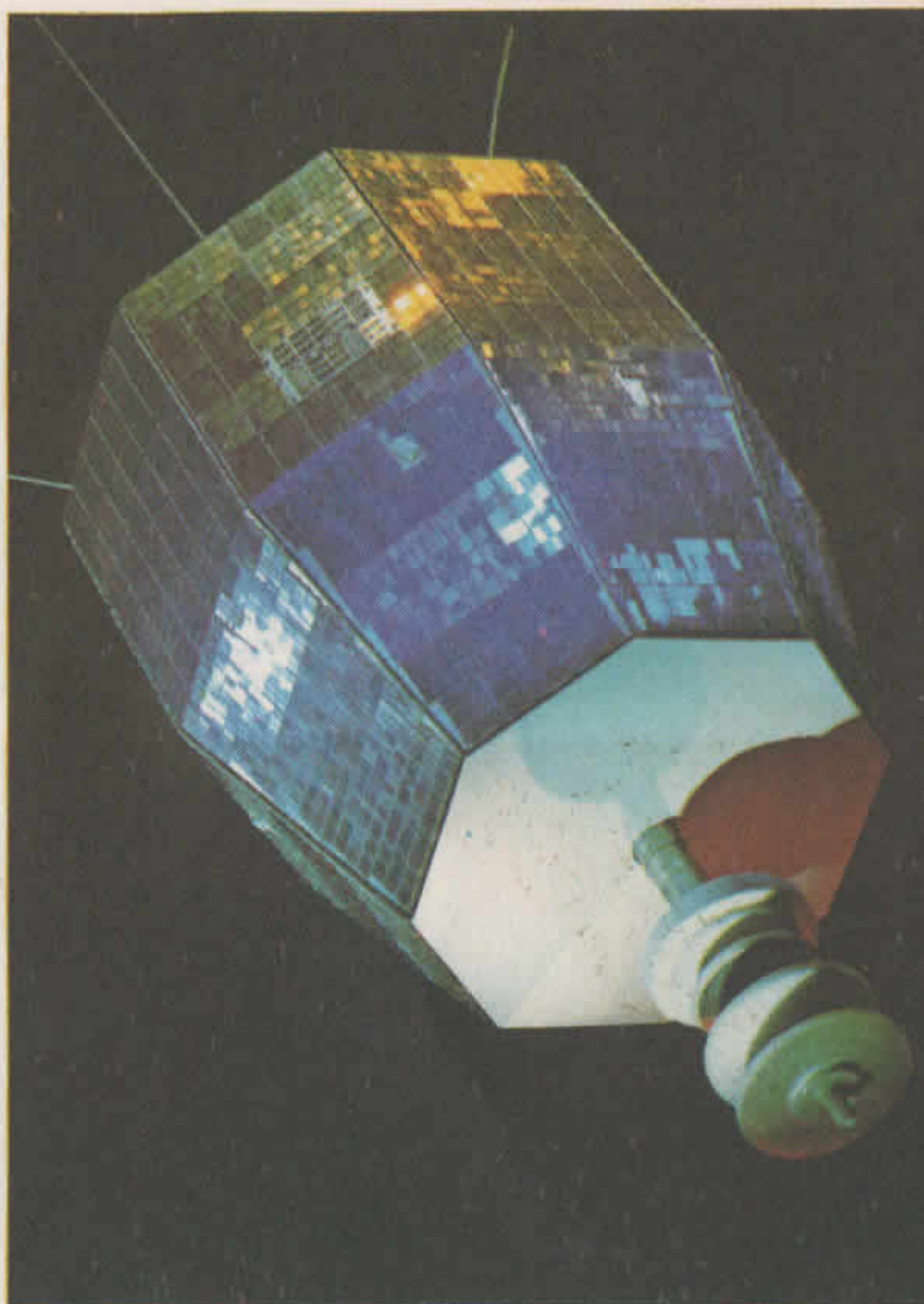
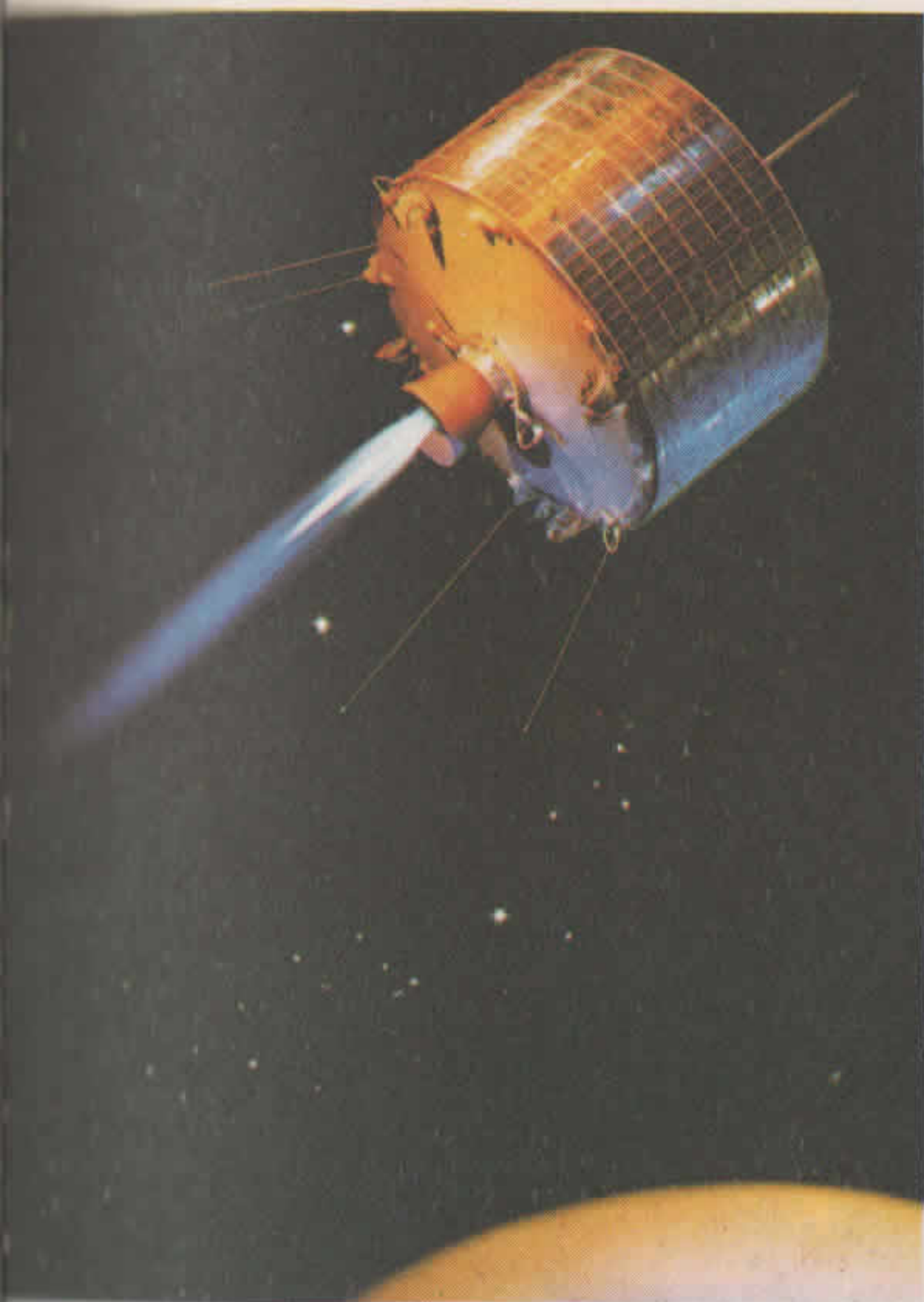


Em cima: Fotografia de TV do Nimbus III mostra nuvens sobre o sudeste dos Estados Unidos. Ao lado, à esquerda: O Syncom a 36.900 quilômetros da Terra; à direita: O Satélite de Comunicações Relay



## Comunicações

Outro benefício foi a aplicação dos satélites destinados a refletir e a retransmitir sinais para comunicações. Estes satélites abrangem duas categorias: os *passivos*, que apenas refletem sinais da Terra para a Terra, e os *ativos*, que recebem, ampliam e transmitem sinais de rádio. O primeiro satélite repetidor-ativo de êxito foi o *Telstar*, lançado em julho de 1962, com a capacidade de 60 chamados telefônicos duplos simultâneos. Outros repetidores-ativos são o *Relay* e o *Syncom*; o último foi colocado numa órbita síncrona de uma revolução em 24 horas (período rotacional da Terra), que o mantém fixo sobre a mesma parte da Terra.

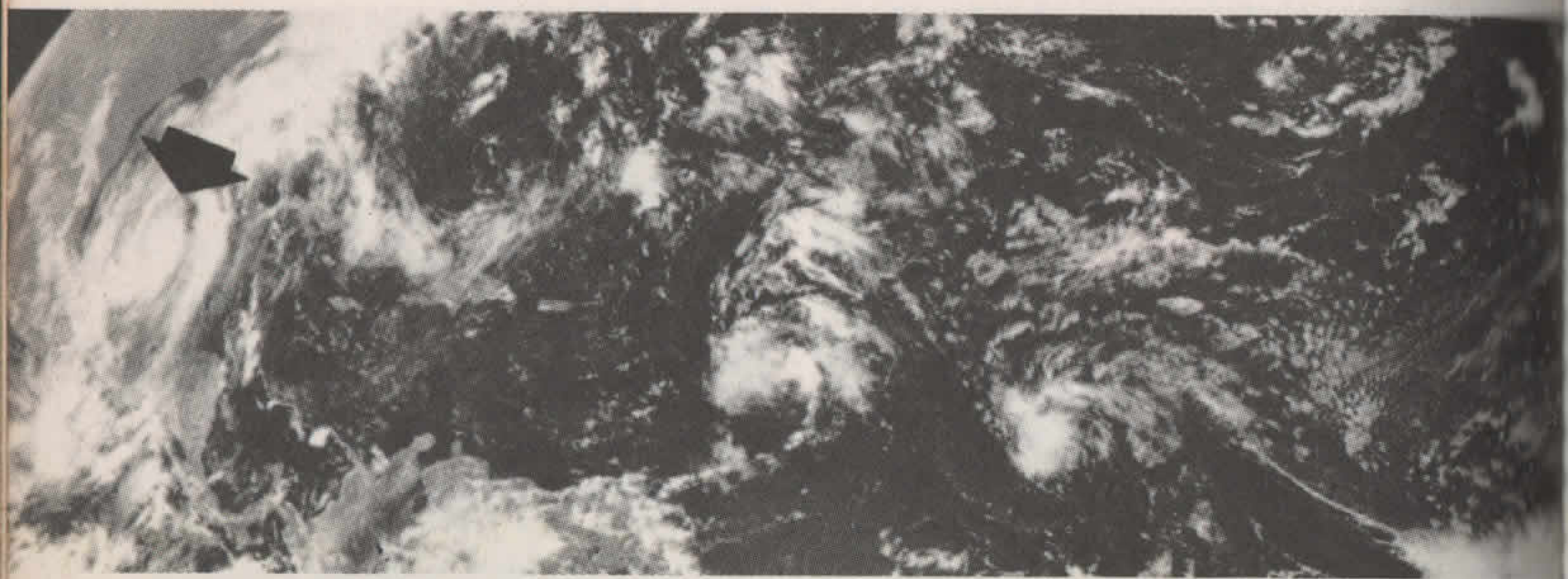
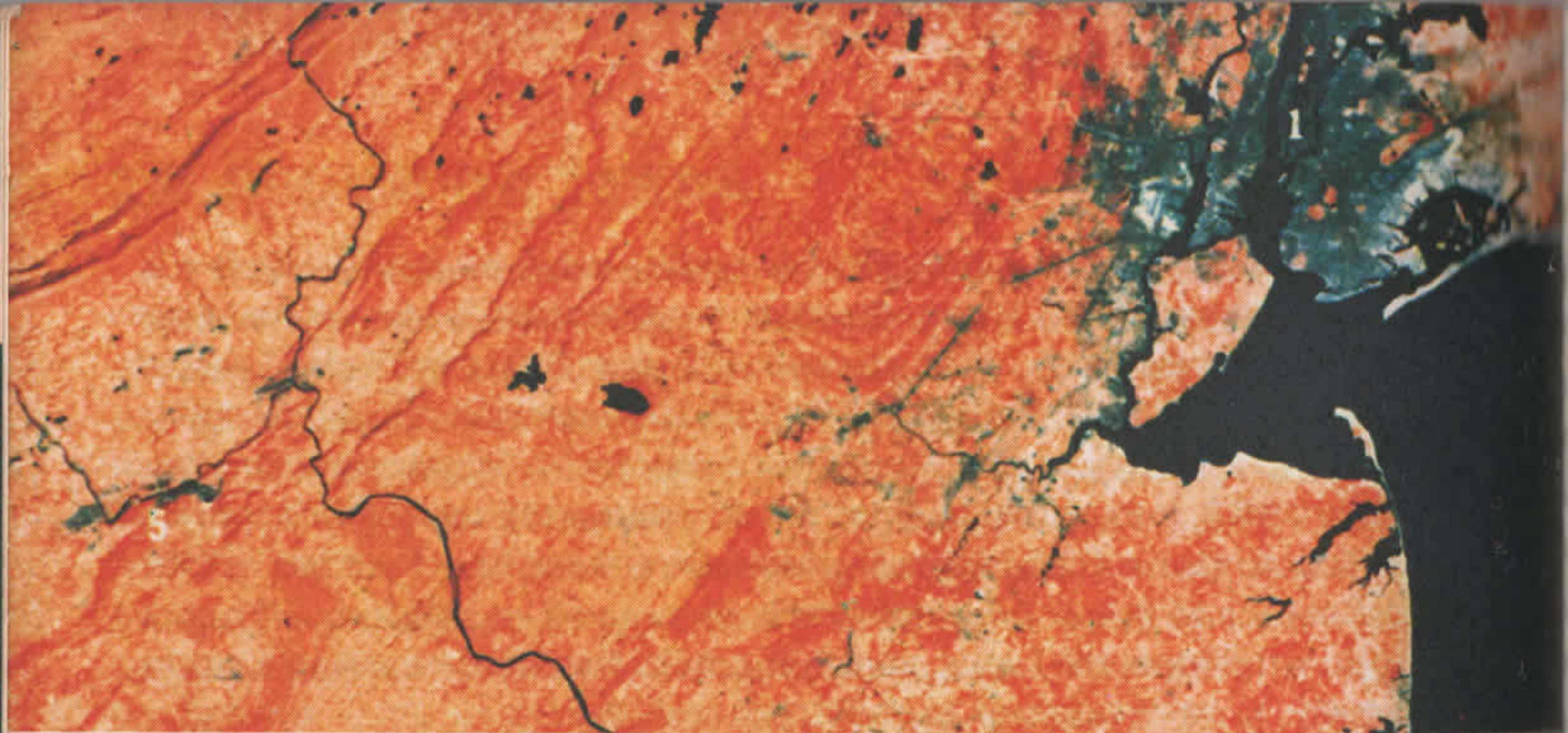


## Astronomia e Ciência da Terra

Alguns satélites observam a Terra, o Sol e a radiação no espaço. São eles os *OAO* (Orbiting Astronomical Observatories), usando telescópios de 90cm para observar estrelas recém-nascidas e nebulosas, e o *OSO* (Orbiting Solar Observatory), para estudar a emissão de raios X do Sol. O *ERTS* (Earth Resources Technology Satellite) e o *ATS* (Applications Technology Satellite) exploram e fotografam as características fisiográficas e geográficas da Terra.

Os lançamentos futuros incluem o *ATS-F* e um *SMS* (Synchronous Meteorological Satellite), a ser colocado em órbita geossíncrona para o estudo contínuo do tempo.





Em cima: A região de Nova Iorque e de Filadélfia vista de um ERTS. No centro: Tempestades localizadas por satélite. Embaixo: Cobertura de nuvens sobre a América do Norte e do Sul.



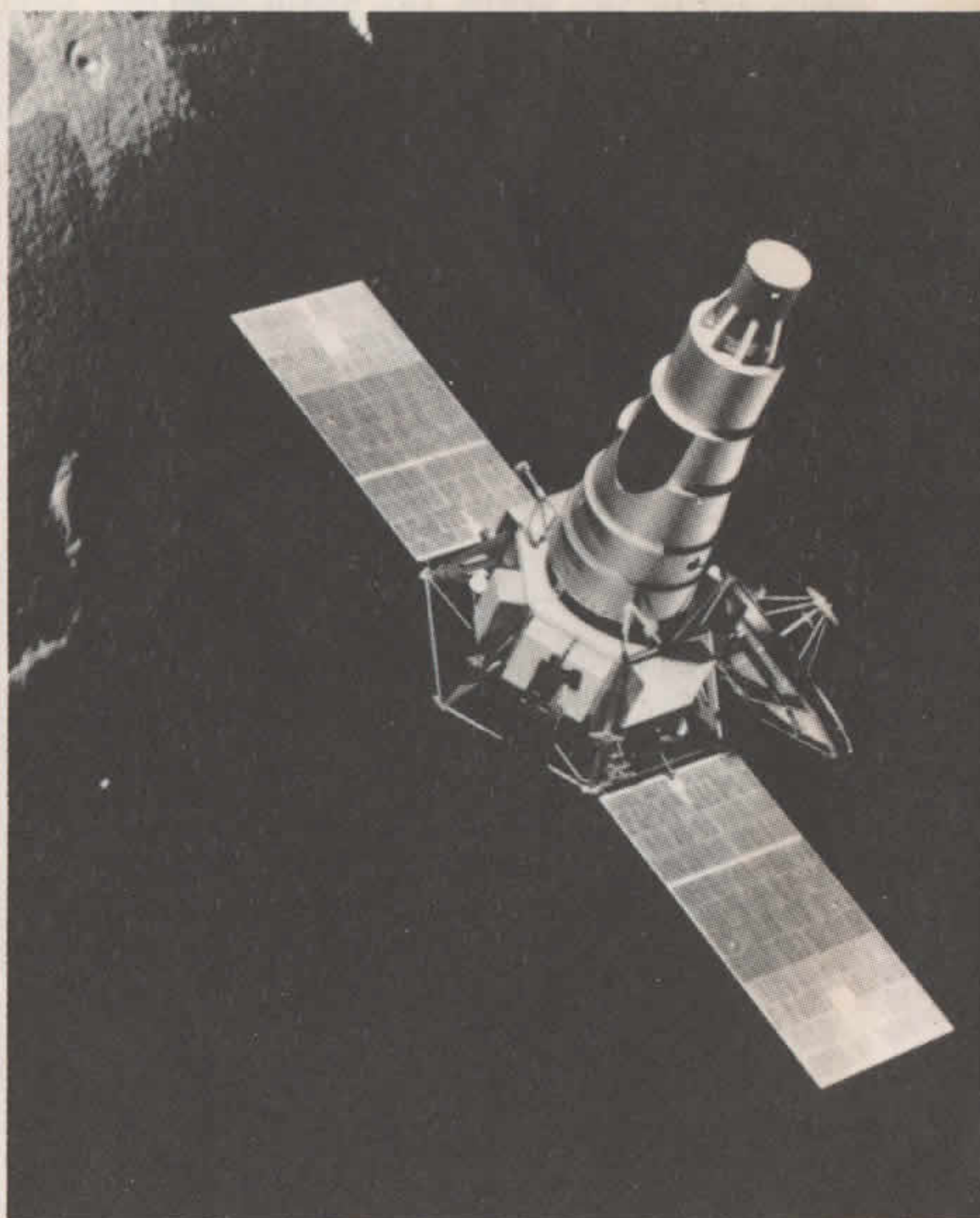
# EXPLORAÇÃO DA LUA

## O Lado Distante

Em 4 de outubro de 1959, dois anos depois do voo bem sucedido do Sputnik I, a União Soviética lançou a primeira sonda espacial (*Luna II*), que fotografou o lado oculto da Lua. Este lado posterior é cheio de crateras e diferente do lado anterior que é coberto de planícies lisas de lava. Uma cratera grande, denominada *Tsiolkovsky* por causa de um pioneiro russo dos foguetes, mostra um solo escuro plano e um pico central. Em 1965, os russos fotografaram o lado oculto com a sonda espacial *Zond III*, confirmando a falta de mares.

## Fotografias da Lua

Durante 1964 e 1965, três satélites *Ranger*, dos Estados Unidos, fotografaram a Lua e, pouco antes do impacto, transmitiram imagens de vidicon que foram as primeiras fotografias de alta-decomposição mostrando detalhes menores do que 400 metros e crateras secundárias, constituídas pelos escombros espalhados durante a formação de crateras por impacto maior. Os vôos dos Ranger confirmaram que as áreas planas dos mares eram satisfatórias para o pouso da Apollo e deram forte apoio à teoria de que a maioria das crateras da Lua formou-se por impacto.



À esquerda: Fotografias lunares antes do impacto do Ranger. Em cima: O Ranger aproximando-se da Lua.



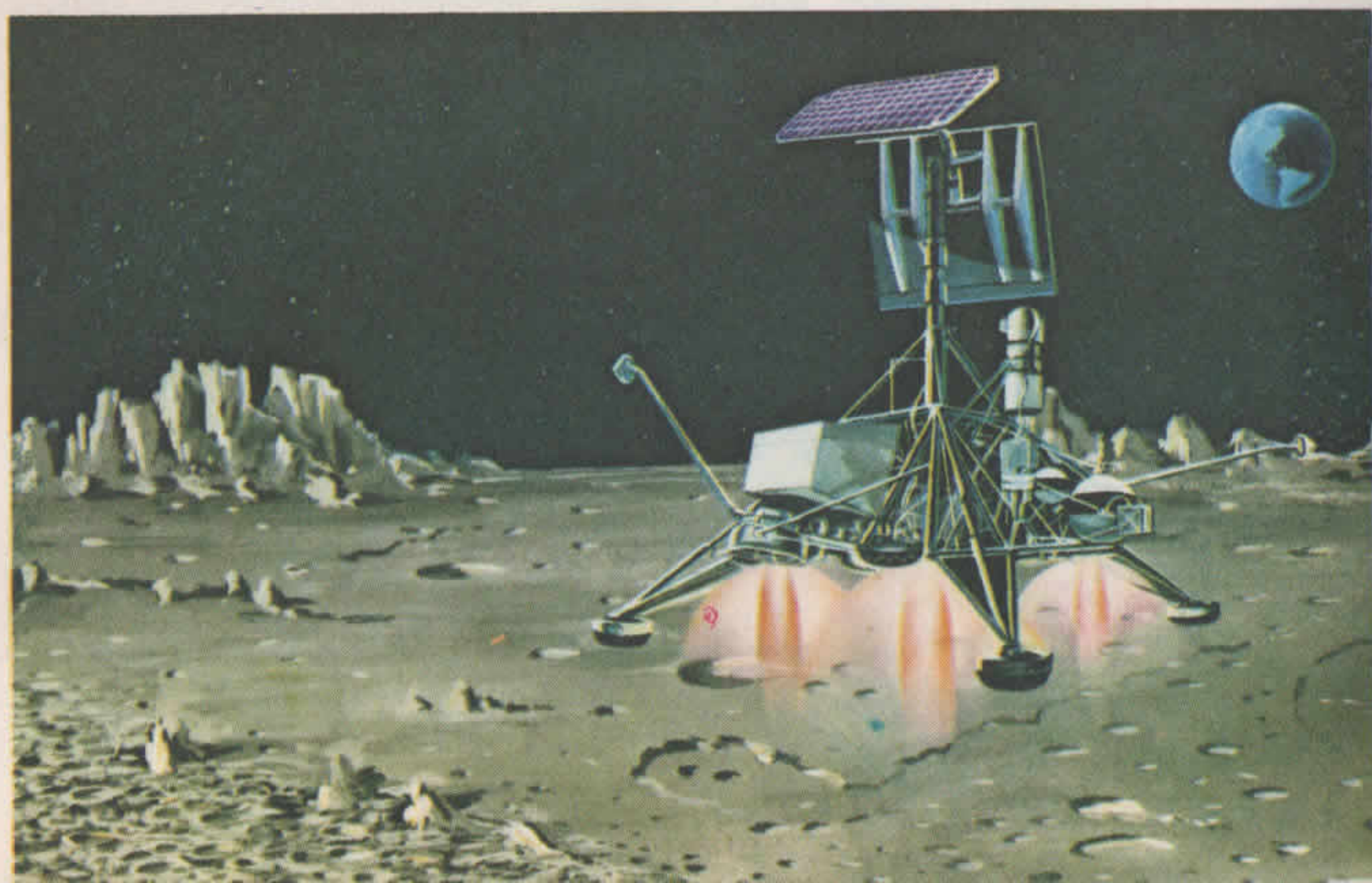
## Pousos suaves

O primeiro pouso suave foi feito em fevereiro de 1966, pela sonda espacial russa *Luna IX*, provando que a superfície lunar poderia suportar uma expedição tripulada. A superfície é cheia de pedras e coberta por uma camada de poeira fina. Em junho do mesmo ano, o *Surveyor I*, norte-americano, fez um pouso suave no solo do Oceano das Tormentas, com uma câmara de televisão que transmitiu uma superfície lisa interrompida por crateras de alguns metros até frações de centímetros. As pedras espalhadas pela paisagem lunar acham-se parcialmente submersas numa superfície de grânulos finos. A câmara mostrou os pés da nave espacial afundando cerca de 5cm numa camada parecida com terra, que formou torrões onde foi revolvida pelo pouso.

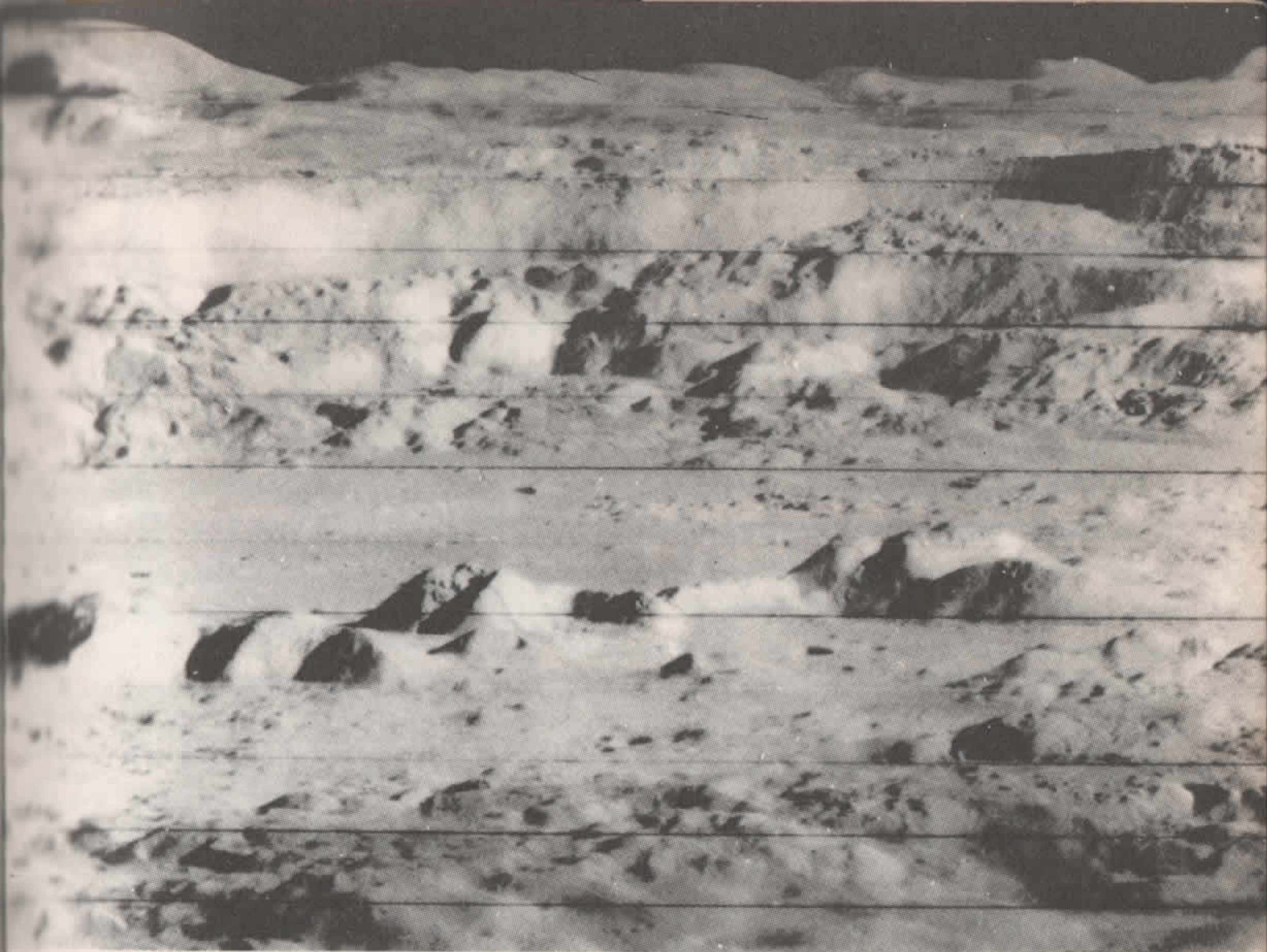
Cerca de um ano depois, em abril de 1967, o *Surveyor III* pousou ao lado de uma cratera no Oceano das Tormentas. O *Surveyor III* levava uma cavadeira que, controlada por rádio sob o comando da Terra, abriu um sulco de cerca de 15cm de profundidade, retirando material com consistência de terra viscosa, como resultado da coesão por vácuo. Em novembro de 1969, os astronautas da Apollo 12 fotografaram este satélite e recuperaram sua câmara.

O *Surveyor V* pousou no Mar da Tranquilidade em setembro de 1967, com um analisador para determinar a natureza química da Lua. Uma caixa contendo cúrio radioativo foi transportada para a superfície, enquanto partículas alfa de cúrio bombardearam a superfície e eram recolhidas de volta no instrumento, revelando uma superfície semelhante ao basalto vulcânico na Terra. A câmara de TV mostrou pequenas quantidades de pós de ferro ligadas a um ímã preso num dos pés.

Sucederam-se outras missões do *Surveyor* com muito êxito. O *Surveyor VI* pousou em *Sinus Medii* em novembro de 1967, preparando os vôos futuros da Apollo. (A infortunada missão Apollo 13 devia pousar neste local.) Em janeiro de 1968, o *Surveyor VII* foi colocado nas montanhas perto da cratera Tycho e lá captou raios laser transmitidos por estações na Terra, estudou o solo com um instrumento de dispersão de alfa e cavou a superfície para tirar amostras.







## Em Redor da Lua

Enquanto os Surveyors estavam investigando áreas selecionadas da superfície, as naves espaciais *Lunar Orbiter* obtinham fotografias da lua inteira. Em agosto de 1966, o *Orbiter I* transmitiu uma fotografia espetacular de um vasto panorama do limbo da Lua com o crescente distante da Terra acima do horizonte lunar. Fotografias de decomposição média de locais possíveis de pouso para a Apollo mostraram que as regiões dos mares estão salpicadas por miríades de pequenas crateras, contrariando a aparência lisa revelada pelos telescópios baseados na Terra.

Em novembro de 1966, o *Orbiter II* continuou a tarefa de fotografar a região equatorial à procura de locais de pouso. Uma fotografia de alta decomposição da cratera Copérnico tornou-se a "fotografia do século". O *Orbiter II* encontrou o local em que o Ranger VIII havia caído no Mar da Tranquilidade. Em fevereiro de 1967, o *Orbiter III* fotografou a área de pouso do Surveyor I. Finalmente, foram feitas fotografias pormenorizadas do lado oculto com lentes de grande abertura e teleobjetivas.

O *Orbiter IV* fotografou a Bacia Oriental, uma formação circular côncava, provavelmente criada por impacto; o *Orbiter V* foi o primeiro a fotografar uma Terra quase cheia. Ao terminar a série *Orbiter*, a Lua inteira havia sido fotografada. Novas crateras receberam nomes, o lado oculto foi cartografado e os locais de pouso foram inspecionados para a missão final — *Apollo*.

Ao lado: A nave espacial Surveyor. Em cima: Fotografia de TV do *Orbiter II* mostra a cratera Copérnico, de 90 quilômetros, com vários picos de montanhas centrais.



# SONDAS PLANETÁRIAS

## Missões para Marte

Os primeiros *close-ups* de Marte foram recebidos em julho de 1965, durante a missão de vôo do Mariner IV. A bordo do satélite, um sinal de tubo de imagens de vidicon foi registrado em dígitos em fita magnética, transmitido para a Terra e reconstruído numa fotografia por computador. Esta técnica foi usada nas últimas missões Mariner, que trouxeram fotografias mostrando crateras semelhantes às da Lua.

Em 1969, as missões de vôo do Mariner VI e VII revelaram características de superfície desconhecidas na Terra e na Lua. Entre elas, estavam terrenos com crateras previamente observados pelo Mariner IV; terrenos caóticos com estrutura irregular sugerindo erosão; terrenos sem nenhuma característica, verdadeiros "desertos" circulares sem estrutura. Os "canais" observados pelos telescópios baseados na Terra mostraram ser, na verdade, alinhamentos de crateras e regiões irregulares escuras.

Em 1971, a missão orbital do Mariner IX fotografou 85% do planeta. Na mesma época, o satélite orbital russo Mars II lançou uma cápsula para a superfície, mas a transmissão de rádio cessou quase que imediatamente após a descida.

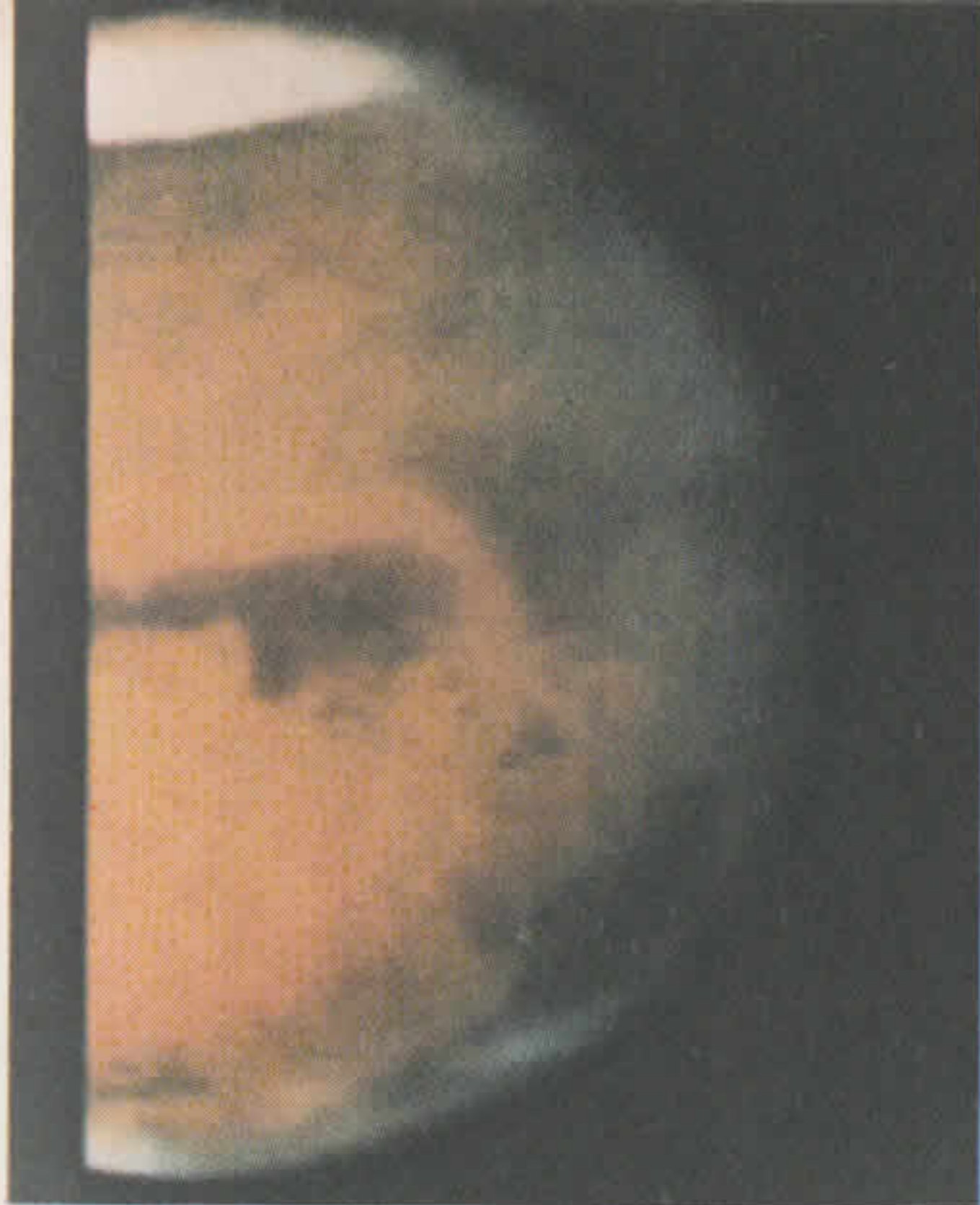
O vôo do Mariner IX confirmou a irregularidade da superfície marciana — crateras com uma textura superficial ondulada, sugerindo dunas de "areia". Um "arroio" serpeante com 570 quilômetros assemelha-se ao leito de um rio seco, embora não esteja confirmada a existência anterior de rios. Um vulcão chamado Nix Olympica tem 540 quilômetros de diâmetro, levantando-se 24 quilômetros acima da planície em redor. Um "Grande Canyon" chamado Vale Mariner tem quase 6,5 quilômetros de profundidade e atravessa o planeta por mais do que 3.218 quilômetros, atingindo uma largura de 240 quilômetros.

## Pioneiro para Júpiter

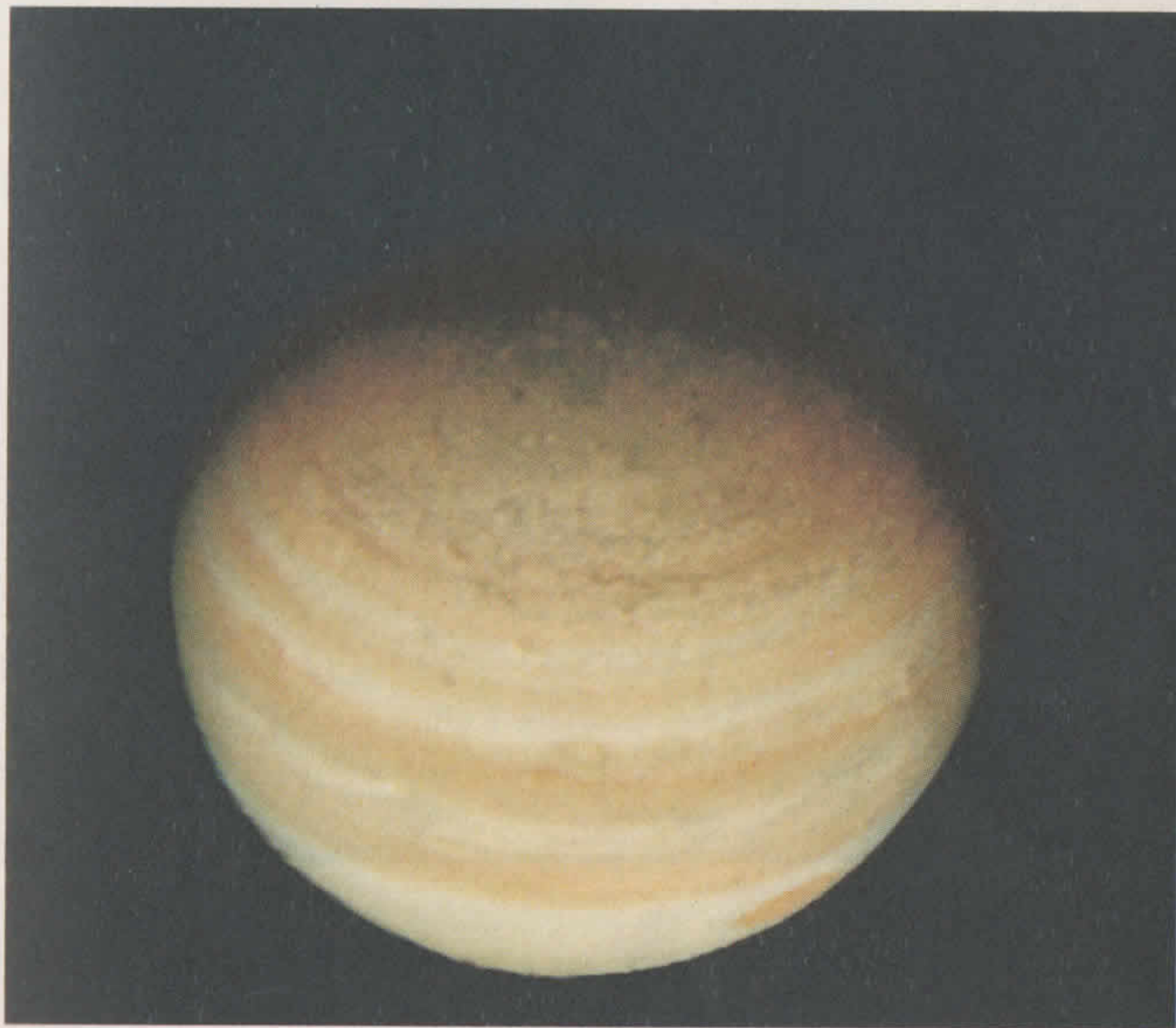
Júpiter foi atingido por satélite pela primeira vez em 4 de dezembro de 1973, quando o *Pioneer X*, depois de quase dois anos de vôo, passou a 125.500 quilômetros do planeta coberto de nuvens. Além da exploração de Júpiter, o Pioneer X estudou os cinturões de asteróides com um detector asteróide-meteoróide, descobrindo que a viagem através desta região de milhares de planetas menores não era perigosa para a nave espacial. Entre os instrumentos a bordo destinados a estudar o planeta havia magnetômetros, fotômetros, um telescópio com tubo Geiger, um telescópio de raios cósmicos e um analisador de plasma.

A sonda começou a medir um campo magnético e uma magnetos-





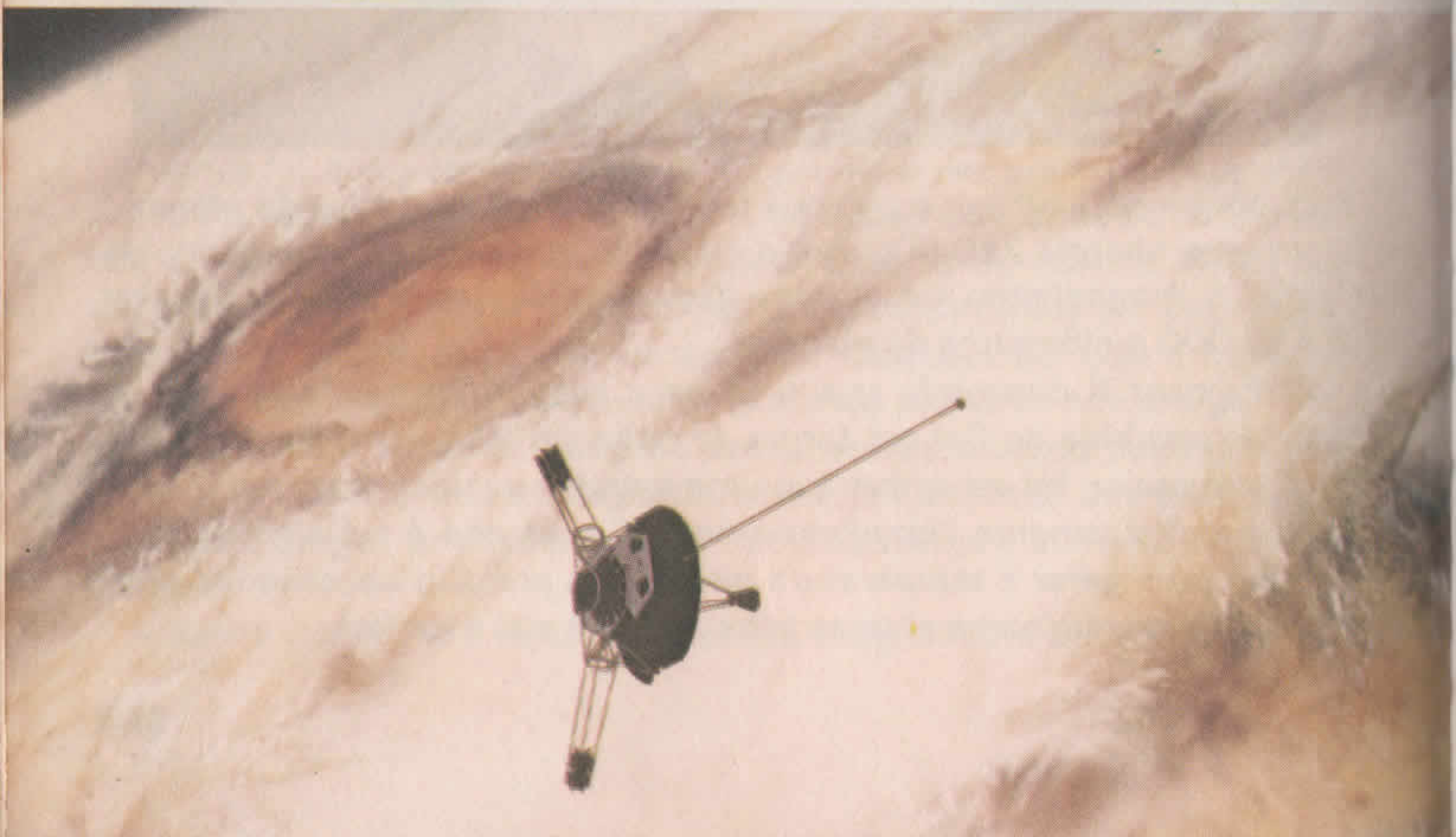
À esquerda: Os vôos do Mariner a Marte forneceram fotografias de aspectos da superfície. Embaixo: Em dezembro de 1974, o Pioneer XI revelou a falta de faixas atmosféricas na região polar de Júpiter.



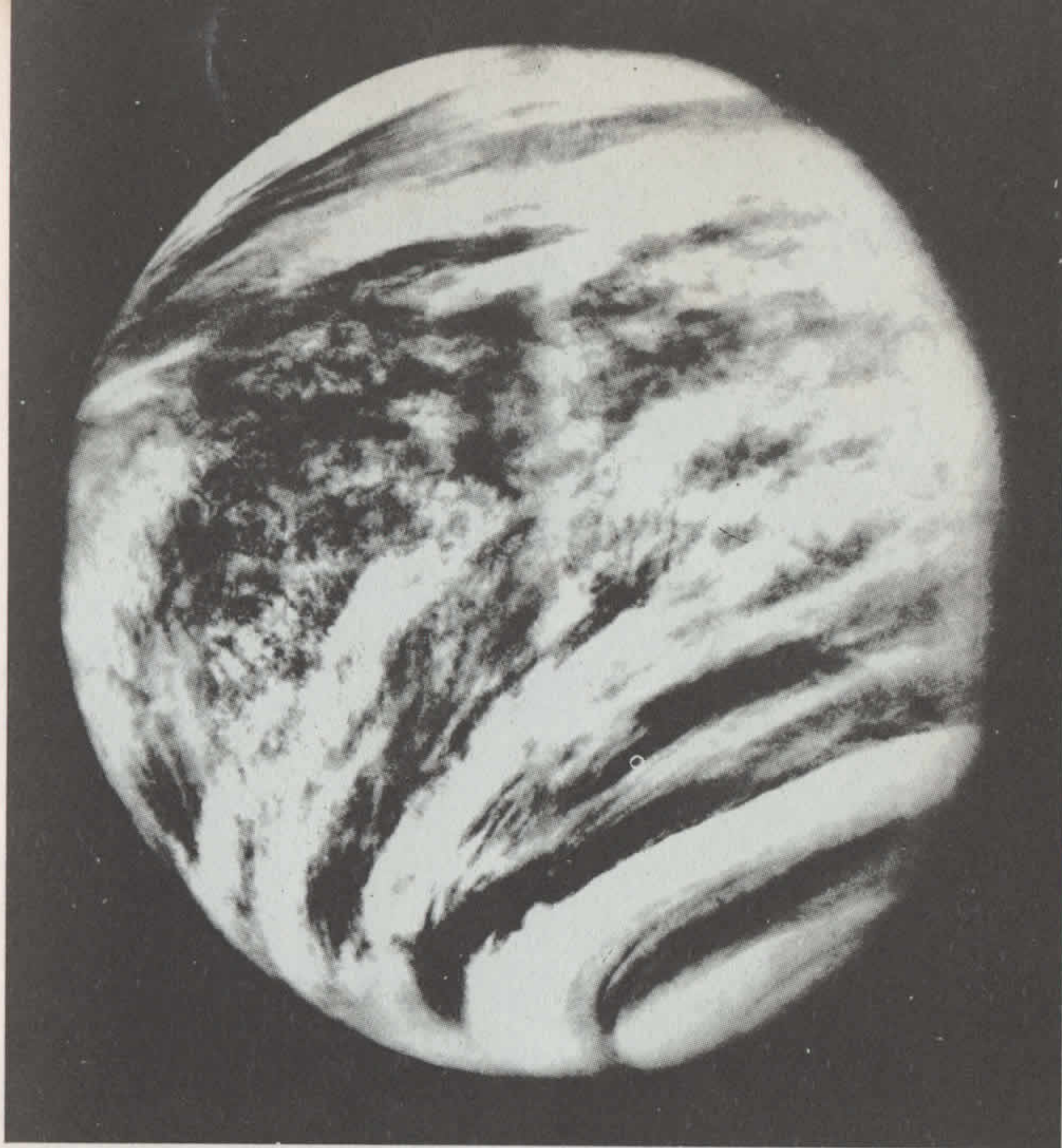
fera contendo elétrons e prótons de alta energia em redor do planeta. Com uma energia 250.000 vezes maior do que o campo magnético da Terra, o magnetismo de Júpiter desvia partículas do Sol, cerca de 6.436.000 quilômetros do planeta.

O Pioneer X descobriu que o planeta irradia duas vezes e meia a energia recebida do Sol em forma de radiação infravermelha. Se Júpiter fosse maior, ter-se-ia tornado uma estrela incandescente pois o planeta é quimicamente semelhante ao Sol, mas não é suficientemente maciço para gerar a temperatura interna e a pressão necessárias para os processos nucleares encontrados no Sol e nas estrelas.









## No Interior do Sistema Solar

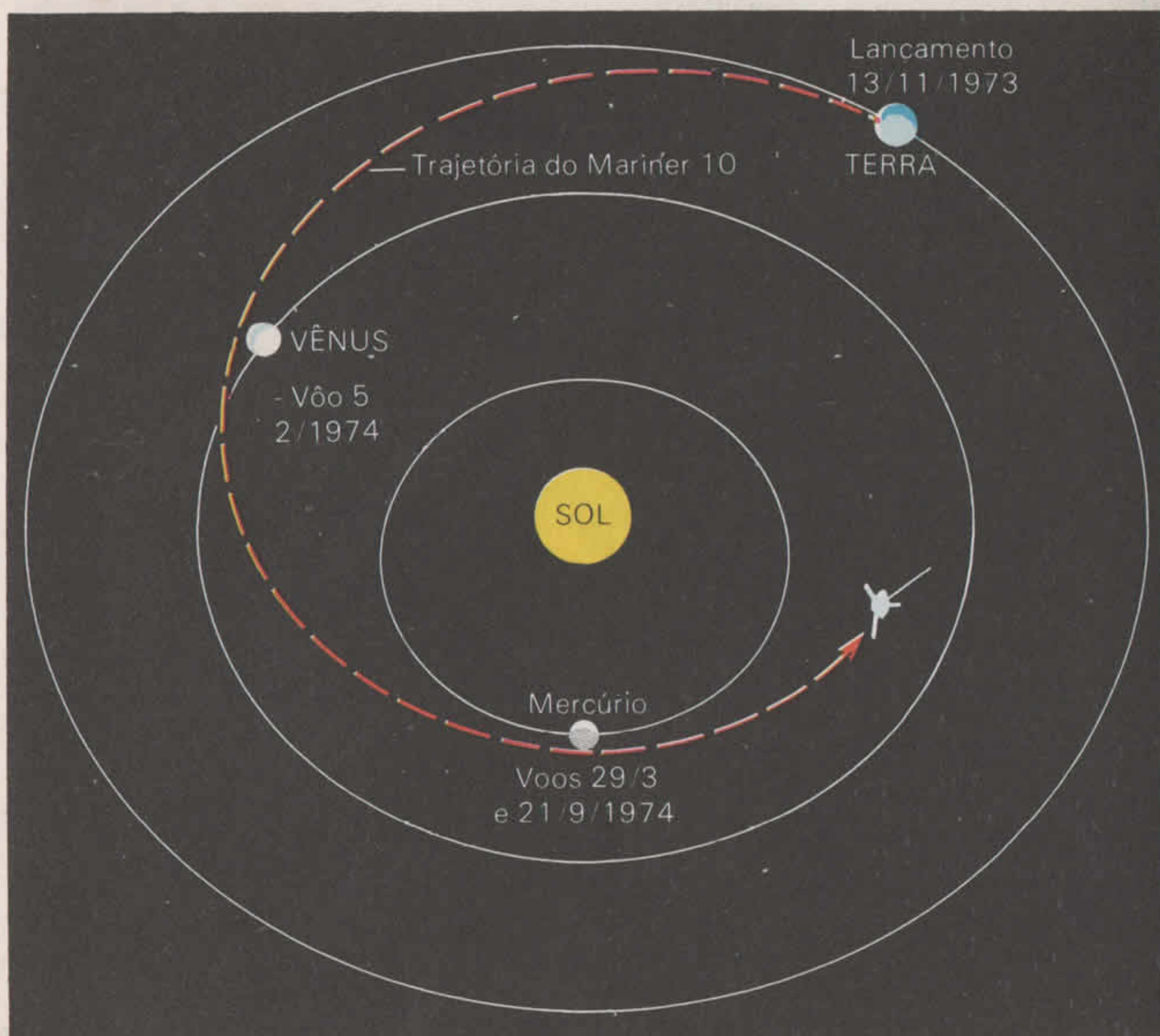
A primeira tentativa de explorar Vênus ocorreu em 4 de fevereiro de 1961, com o lançamento do *Sputnik VII* russo. A missão fracassou, mas, em 1965, o *Venera III* tornou-se o primeiro objeto a colidir com o planeta. O *Venera IV* (junho de 1967) tentou pousar uma cápsula com instrumentos.

Nos Estados Unidos, a exploração de Vênus começou em julho de 1962, com o *Mariner I*, que não conseguiu atingir o planeta. O *Mariner II*, lançado cerca de um mês depois, chegou a 33.790 quilômetros de Vênus. Enquanto o *Mariner* passava pelo planeta, um radiômetro infravermelho explorou do lado escuro ao brilhante, medindo a luminosidade e a temperatura. A temperatura superficial, deduzida pelas leituras telemetradas para a Terra, indicava um planeta quente (427 C), seco, incapaz de manter a vida.

A missão do *Mariner V* de 1967 encontrou uma pressão atmosférica na superfície de Vênus de cerca de 100 atmosferas da Terra — igual à pressão da água no fundo do oceano. Acredita-se que foi esta pressão enorme que destruiu o *Venera IV* antes dele ter alcançado a superfície.

Ao lado, em cima: Júpiter televisionado pelo Pioneer X, em 10 de dezembro de 1973; Embaixo: Desenho do Pioneer X sobre a Grande Mancha Vermelha. Em cima: Vênus, televisionado pelo Mariner X, em fevereiro de 1974.





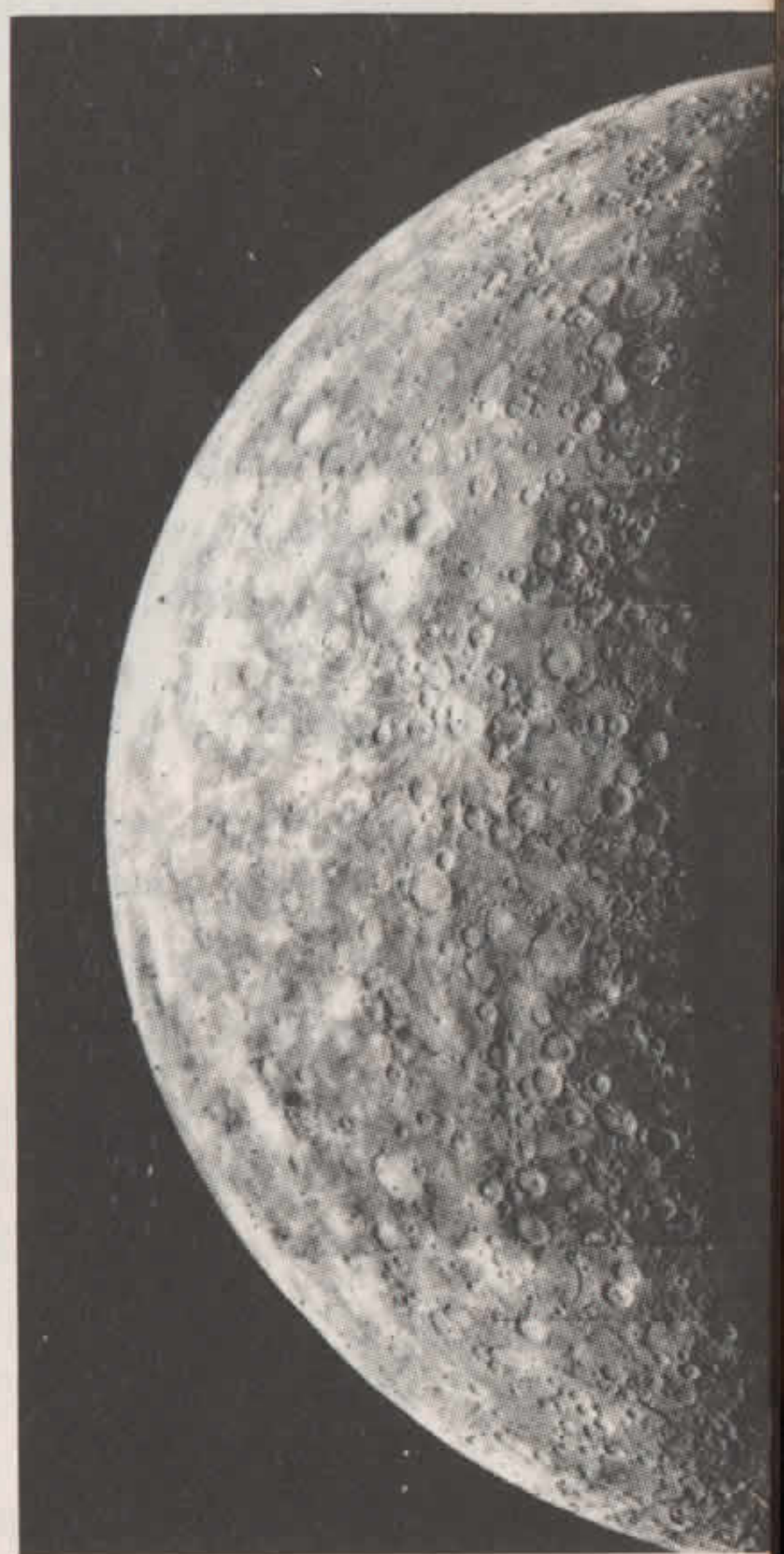
do planeta. Mais tarde, as missões soviéticas do *Venera V* e *VI*, em 1969, tentaram pousos suaves com pára-quedas. Estes satélites chegaram perto da superfície antes que perdessem o contato pelo rádio.

Em 1973, cientistas espaciais aproveitaram-se do alinhamento de Vênus e de Mercúrio para fotografar ambos os planetas numa missão. Em 10 de fevereiro de 1974, o *Mariner X* fotografou a cobertura de nuvens de Vênus com luz ultravioleta. Na região equatorial, os raios diretos do Sol provocam circulação vertical, resultando numa estrutura anelar enorme nas nuvens. Fotografias com intervalos mostram uma circulação longitudinal da atmosfera superior a 402 quilômetros por hora. Cinturões circum-equatoriais partem do anel subsolar atravessando o planeta, enquanto que raios em espiral, saindo das latitudes médias, curvam-se em direção dos cinturões equatoriais. Na região polar, as nuvens formam um anel de excesso de condensação.

No fim de março de 1974, o *Mariner X* chegou perto de Mercúrio. Vieram fotografias mostrando que o planeta tem crateras como as da Lua. Raios brilhantes irradiam de crateras grandes. Faltam os mares planos cercados por cadeias de montanhas, embora a aparência de Mercúrio sugira o bombardeamento por blocos meteóricos do espaço. O planeta tem um campo magnético fraco e uma atmosfera de hélio, que pode ser resultado do impacto de partículas de alta energia do Sol.

Em cima: Mercúrio fotografado do *Mariner X* em setembro de 1974, a 75.000 quilômetros de distância. Embaixo, à esquerda: *Mariner X*; à direita: A superfície com crateras de Mercúrio assemelha-se às regiões montanhosas da Lua.







# HOMENS NO ESPAÇO

## Vôos Orbitais

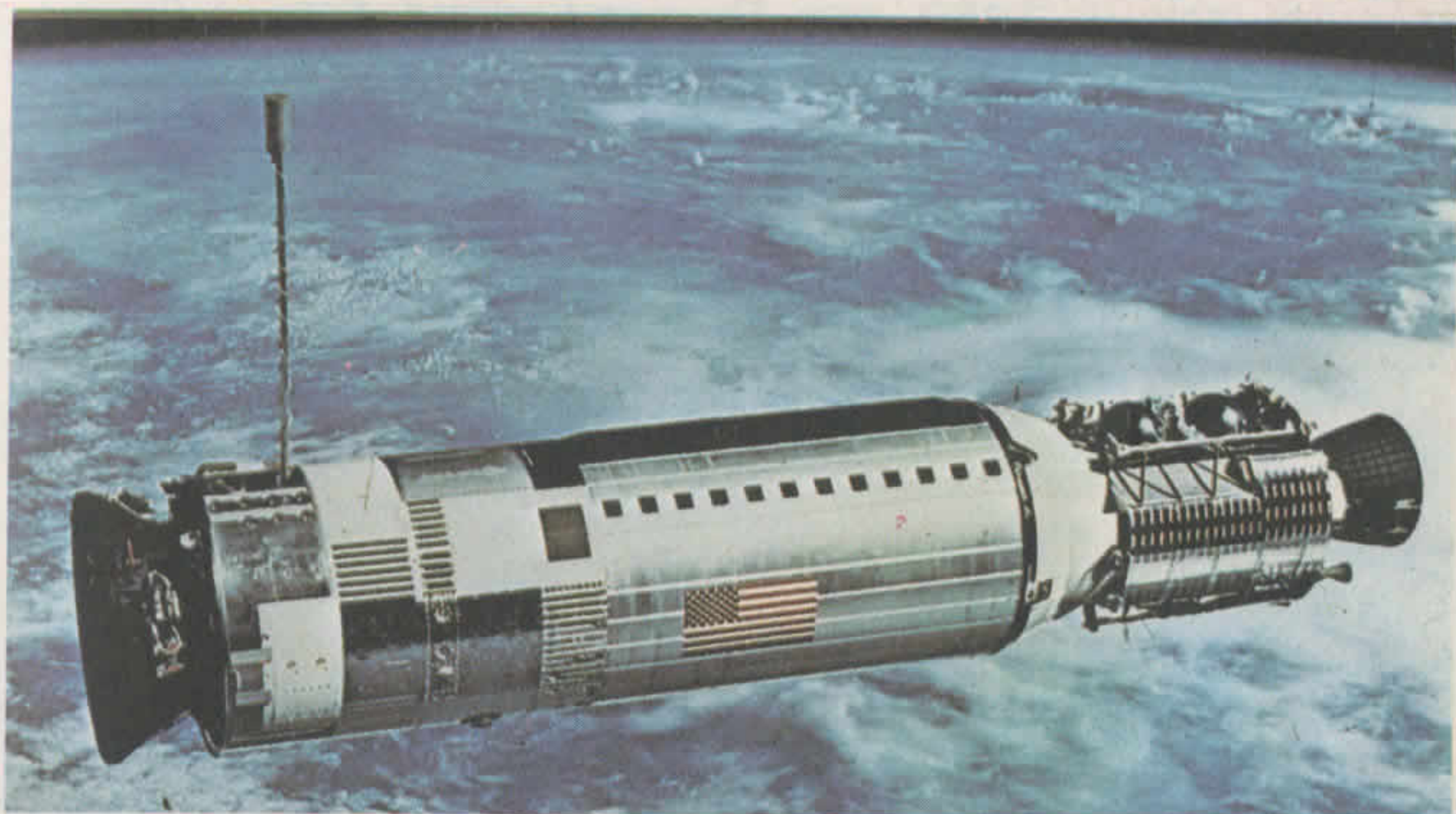
Os acontecimentos que culminaram com um pouso tripulado na Lua começaram em 12 de abril de 1961, quando Yuri Gagarin, na nave soviética *Vostok 1*, fez o primeiro voo, contornando a Terra numa hora e 48 minutos. No mês seguinte, em 5 de maio de 1961, Alan Shepard tornou-se o primeiro norte-americano no espaço, com um voo suborbital de 16 minutos, a bordo do *Mercury 3*, chamado "Freedom 7". Em 21 de julho de 1961, Virgil Grissom duplicou a façanha a bordo do *Mercury 4*, chamado "Liberty Bell", que afundou durante as operações de recuperação. Em seguida, temos outro evento espacial espetacular, realizado por um russo, Gherman Titov, a bordo do *Vostok 2*. Ele fez 16 revoluções e passou mais de 24 horas no espaço. John Glenn foi o primeiro norte-americano em órbita, em 20 de fevereiro de 1962, com três revoluções e um tempo de voo total de quatro horas e 55 minutos, no *Mercury 6*. A missão foi repetida por Scott Carpenter a bordo do *Mercury 7*, em 24 de maio de 1962. Em agosto, o *Vostok 3* e o *Vostok 4*, com Adrian Nikolayev e Pavel Popovich, realizaram o primeiro voo em grupo, chegando a uma distância de 4,8 quilômetros entre um e outro. Em outubro de 1962, Walter Schirra fez seis revoluções no *Mercury 9*, com um voo que durou 34h e 20 min.

## Missões Múltiplas

Os dois anos seguintes foram dominados pelo voo em grupo do *Vostok 5* e do *Vostok 6*, em junho de 1963 (Valentina Tereshkova, no *Vostok 6*, foi a primeira mulher a ir para o espaço); pela primeira missão tríplice do *Voskhod 1*, com Vladimir Komarov, Konstantin Feoktistov e Boris Yegorov; e pelo voo de março de 1965 do *Voskhod 2*, com Pavel Belyayev e Aleksei Leonov, que executou a primeira atividade extraveicular com um passeio espacial de 10 minutos.

De março de 1965 a novembro de 1966, o programa norte-americano *Gemini* dominou a exploração espacial tripulada. Virgil Grissom e John Young fizeram três revoluções na *Gemini 3*, tornando-se os primeiros "gêmeos espaciais" norte-americanos. Em junho de 1965, a *Gemini 4* levou James McDivitt e Edward White em 62 revoluções, com White executando o primeiro passeio espacial norte-americano por 21 minutos. Gordon Cooper e Charles Conrad fizeram o primeiro voo espacial longo, com mais de uma semana (190 horas e 56 minutos) de duração, em agosto de 1965 (*Gemini 5*). Este recorde foi quebrado em 4 de dezembro de 1965, quando Frank Borman e James Lovell, na *Gemini 7*, fizeram 206 revoluções antes da descida (330 horas e 35 minutos). Enquanto isto, a *Gemini 6-A* foi lançada em 15 de dezembro de 1965, com Walter Schirra e Thomas Stafford, para um encontro com a *Gemini 7*.





As outras missões Gemini foram gastas em encontros, acoplamentos e em atividades extraveiculares. Era necessário que essas manobras fossem aperfeiçoadas antes de se tentar o pouso na Lua. Em 16 de março de 1966, Neil Armstrong e David Scott fizeram o primeiro engate no alvo Agena. Thomas Stafford e Eugene Cernan vieram depois, em junho de 1966, com um encontro de 72 horas e atividades extraveiculares. Michael Collins e John Young acoplaram no Agena em julho de 1966. Em setembro de 1966, Charles Conrad e Richard Gordon continuaram os encontros e os engates. James Lovell e Edwin Aldrin completaram a série a bordo da *Gemini 12*, em novembro de 1966.

Em cima: Edward White durante a atividade extraveicular, fotografado por James McDivitt, a bordo da Gemini 4. Embaixo: O alvo de engate Agena, fotografado da Gemini 12 por James Lovell e Edwin Aldrin.



## Chegando na Lua

Os cosmonautas russos continuaram seus vôos em redor da Terra com a nova série Soyuz. A *Soyuz 1*, a nave tripulada mais pesada, foi lançada com Vladimir Komarov, em abril de 1967. Ele morreu na reentrada, depois de 17 revoluções. Anteriormente, em janeiro de 1967, os primeiros tripulantes da Apolo, Virgil Grissom, Edward White e Roger Chaffee, haviam perdido suas vidas num incêndio enquanto testavam o Módulo de Comando no gigantesco foguete Saturno V, na plataforma de lançamento.

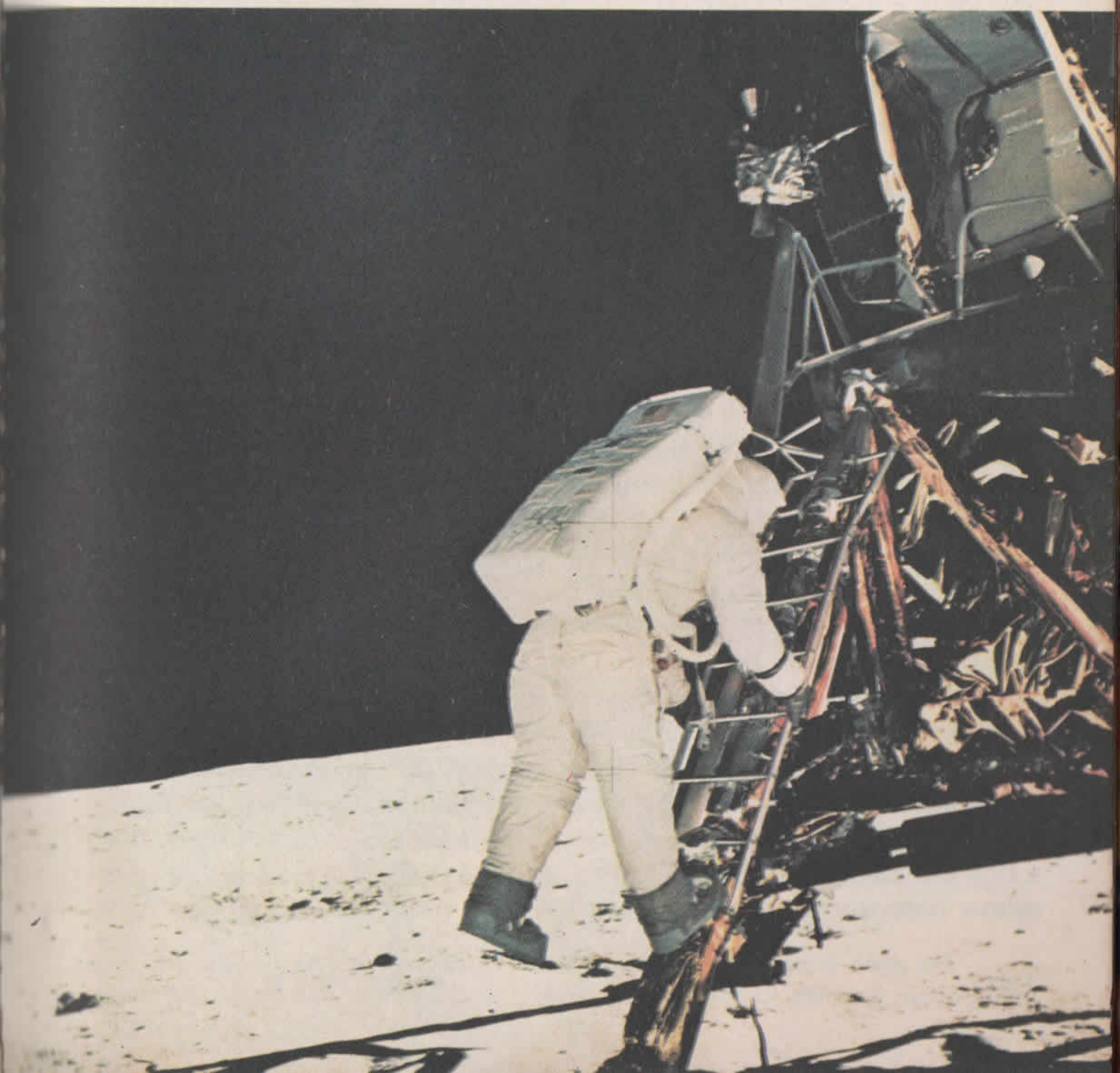
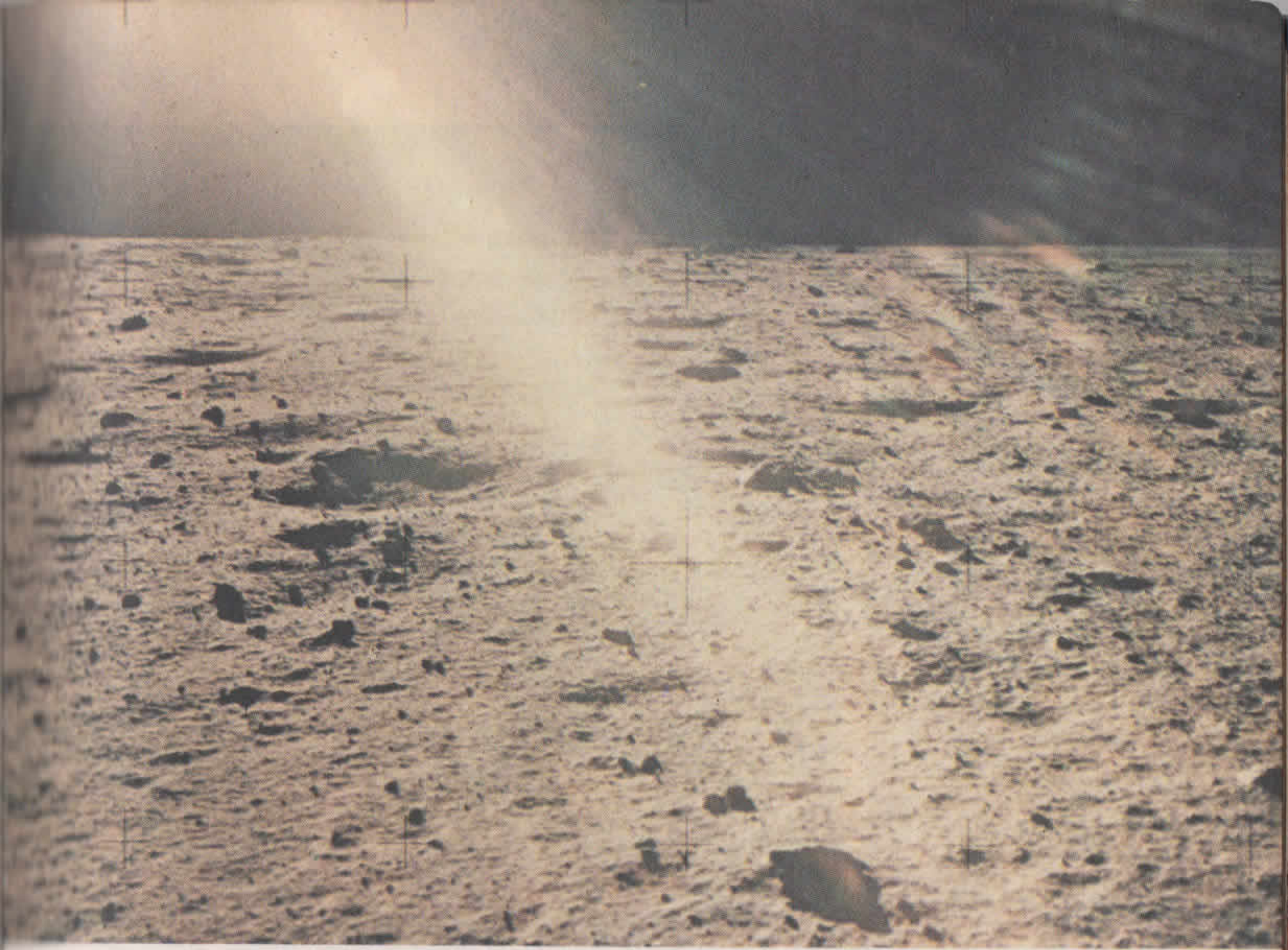
O primeiro vôo tripulado da Apolo ocorreu em 11 de outubro de 1968, quando Walter Schirra, Donn Eisele e Walter Cunningham testaram a nave espacial girando em redor da Terra durante 11 dias. A missão foi bem sucedida e, em 21 de dezembro de 1968, Frank Borman, James Lovell e William Anders fizeram sua viagem histórica até a Lua na *Apolo 8*, fizeram 10 revoluções e voltaram ilesos para a Terra. Com a *Apolo 9* na órbita da Terra, James McDivitt, David Scott e Russell Schweikart acoplaram o Módulo de Excursão Lunar e praticaram atividades extraveiculares com um sistema auto-suficiente de subsistência. O acoplamento e o encontro em redor da Lua foram efetuados em maio de 1969, com Thomas Stafford, Eugene Cernan e John Young a bordo da *Apolo 10*.

Agora tudo estava pronto para o grande momento — 16 de julho de 1969 — quando Neil Armstrong, Edwin Aldrin e Michael Collins partiram para realizar um pouso lunar. O Módulo de Excursão Lunar, com Armstrong e Aldrin a bordo, separou-se do Módulo de Comando, pilotado por Collins. O Módulo de Excursão, chamado *Eagle*, pousou no Mar da Tranquilidade a 20 de julho de 1969. Seis horas e meia depois, Armstrong pisou na Lua, acompanhado por Aldrin. Os astronautas examinaram a superfície, recolheram rochas e amostras do solo e montaram vários instrumentos para investigação científica. No dia seguinte, eles se reuniram a Collins no Módulo de Comando e voltaram, descendo na Terra, com êxito, em 24 de julho. O homem chegara na Lua oito anos depois de seu vôo orbital inicial em redor da Terra.

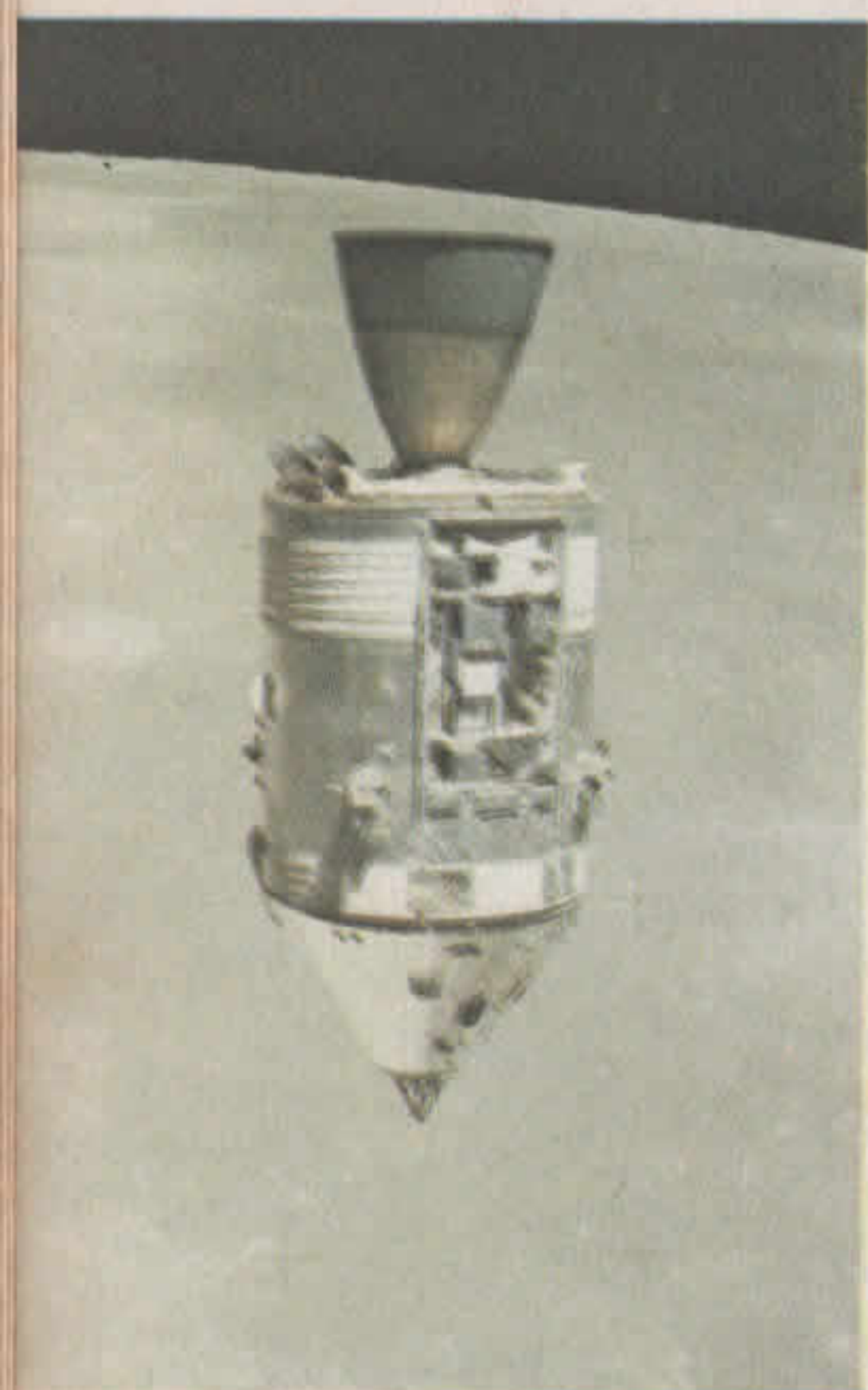
Ao lado, em cima:  
Superfície da Lua  
fotografada da janela  
do Módulo Lunar.  
Ao lado, embaixo:  
Aldrin na escada do  
Módulo Lunar da  
*Apolo 11*, fotografado  
por Armstrong.











Seguiram-se outras missões Apolo. Em novembro de 1969, Charles Conrad, Richard Gordon e Alan Bean chegaram na Lua na *Apolo 12*. Conrad e Bean levaram o Módulo de Excursão para o Oceano das Tormentas, perto do Surveyor III, e recuperaram a câmara. A *Apolo 13*, com James Lovell, Fred Haise e John Swigert, sofreu uma explosão de oxigênio a caminho da Lua, que resultou numa falta de energia. Os astronautas regressaram ilesos. Em janeiro de 1971, a *Apolo 14* deixou Alan Shepard e Edgar Mitchell na região Fra Mauro, enquanto Stuart Roosa permaneceu em órbita lunar. Pela primeira vez, o equipamento e os suprimentos foram carregados num transportador de duas rodas. A *Apolo 15* esteve na região Hadley-Apeninos em julho de 1971, com David Scott e James Irwin usando o veículo Rover pela primeira vez e Al Worden pilotando o Módulo de Comando em órbita. Sismômetros nucleares registraram sinais a 96,5 quilômetros do interior lunar. Em abril de 1972, os astronautas da *Apolo 16*, John Young e Charles Duke, foram o nono e o décimo norte-americanos a caminhar na Lua, enquanto Thomas Mattingly ficava em órbita. O Módulo de Excursão pousou no planalto Descartes. Fizeram investigações com um sismômetro, um magnetômetro e um detector de raios cósmicos. A missão mais produtiva foi o voo da *Apolo 17* para a região de Taurus-Littrow, em dezembro de 1972: Eugene Cernan e Harrison Schmitt exploraram a superfície enquanto Ronald Evans permanecia em órbita. As missões Apolo mostraram que a crosta lunar é deficiente em ferro e rica em cálcio, alumínio e titânio. A Lua é mais velha do que se acreditava anteriormente e sua composição é diferente daquela da Terra.

Em cima, à esquerda: Módulo de Comando e de Serviço da Apolo 15 em órbita lunar; à direita: O astronauta James Irwin, da Apolo 15, no Veículo Lunar.

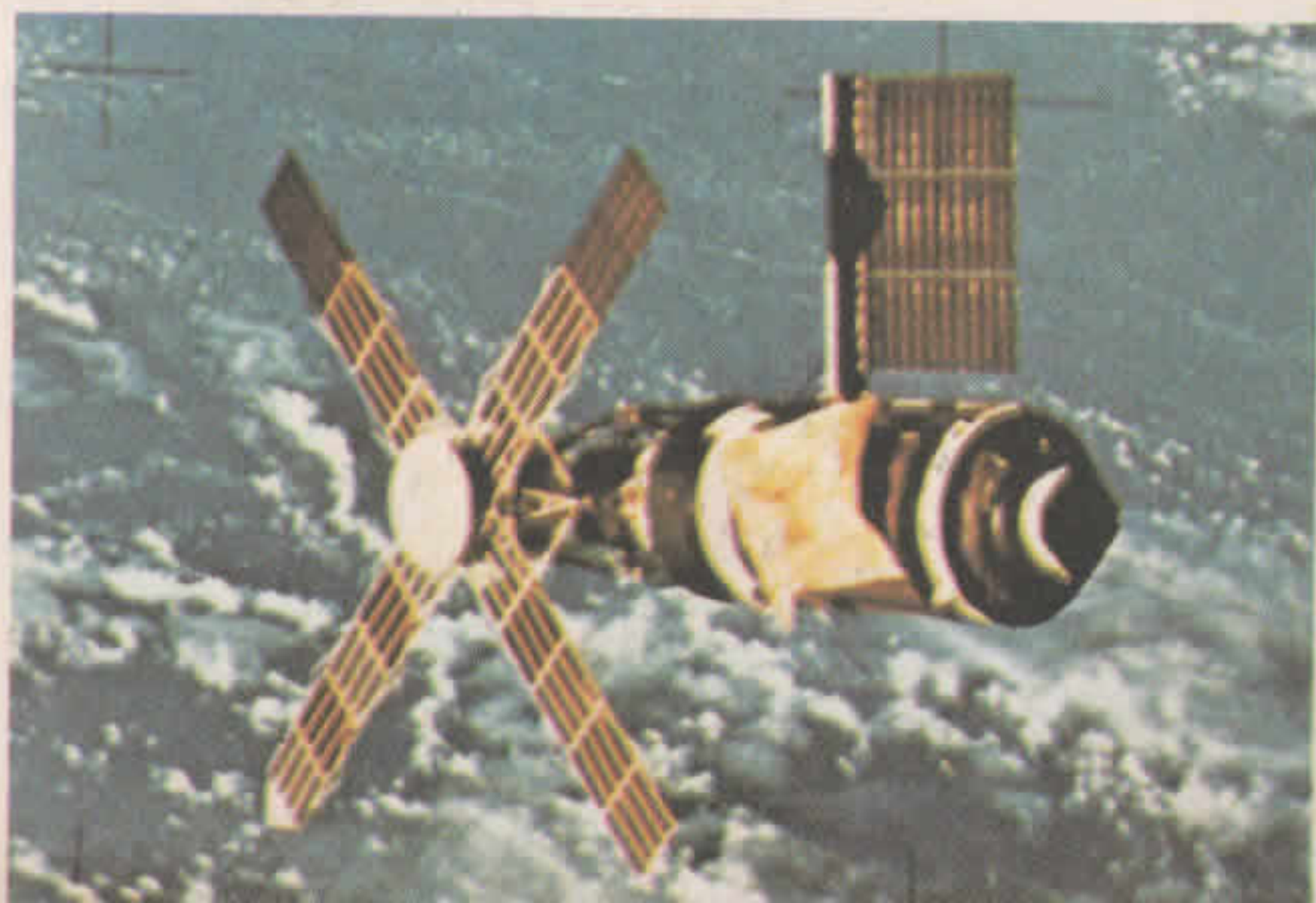
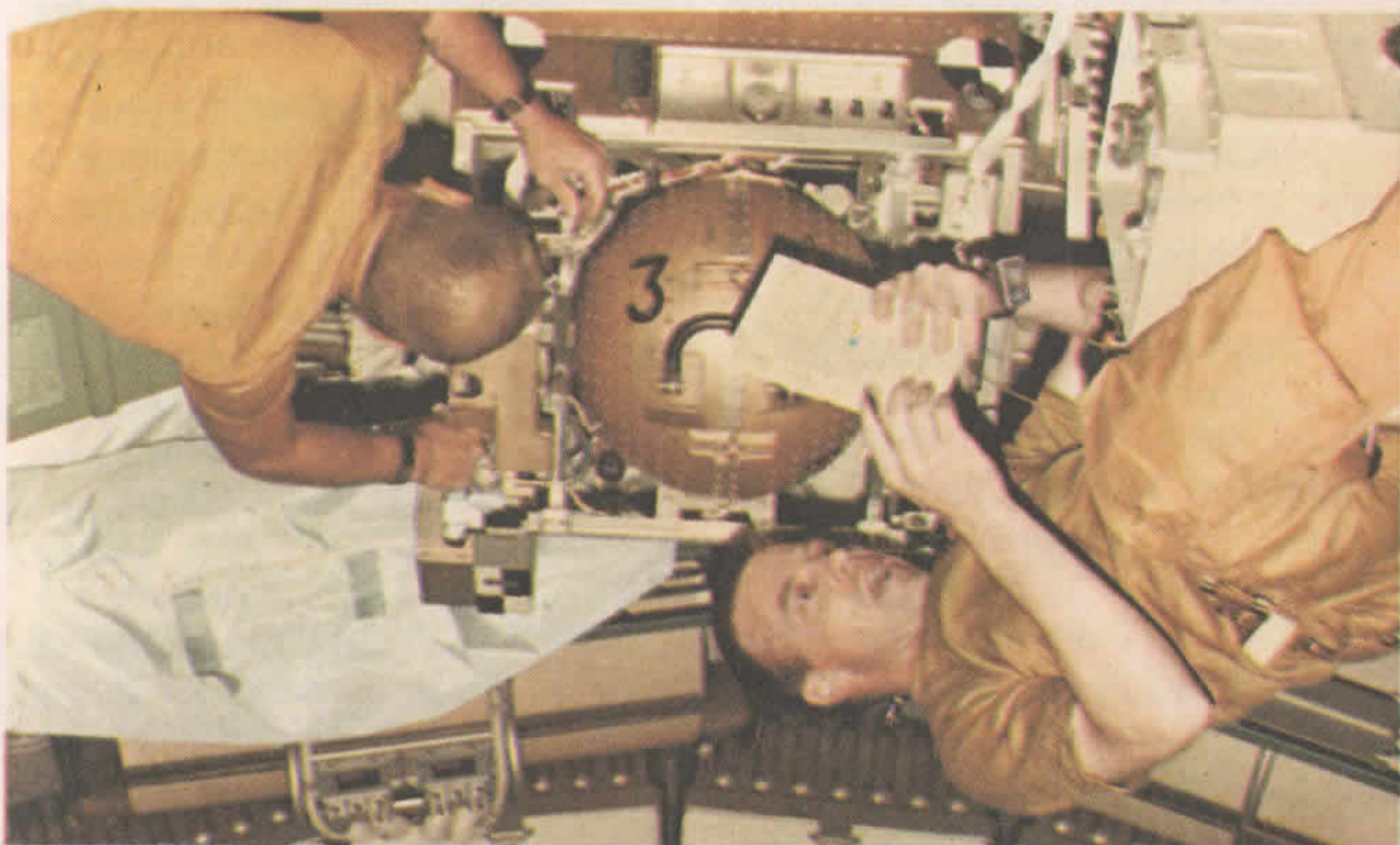


## Depois da Apolo

O primeiro SKYLAB foi posto em órbita em maio de 1973. Essas estações espaciais consistem em uma *oficina orbital* (um foguete Saturno IV-B adaptado), um *módulo com câmara de compressão*, um *adaptador de engate múltiplo*, um *módulo de comando e de serviço* Apolo e um suporte de telescópio Apolo com oito telescópios para observar tanto os comprimentos de onda raio X e ultravioleta, quanto o espectro visível. Em fevereiro de 1974, três tripulações SKYLAB já haviam completado suas missões, sendo que a última estabeleceu um recorde de 84 dias em órbita.

Em 1975, os Estados Unidos e a União Soviética planejaram acoplar uma Apolo e uma Soyuz na primeira missão espacial internacional. Foi um passo para missões futuras de cooperação na órbita da Terra e para os planetas.

Agora, o *Space Shuttle* (Taxi Espacial) acha-se em fase experimental. Do tamanho de um jato para passageiros, o Space Shuttle levará e trará satélites, transferirá tripulações no espaço e *voltará* para um aeroporto designado, numa asa em forma de delta de 23,8 metros. O Space Shuttle pode ser o protótipo para futuros vôos comerciais no espaço. Hoje as viagens espaciais parecem remotas; no entanto, menos de 70 anos separam o primeiro vôo de avião dos irmãos Wright e o primeiro pouso na Lua.



Em cima: Tripulantes do Skylab I, Charles Conrad e Joseph Kerwin, a bordo da Oficina Skylab. À esquerda: Estação espacial Skylab, tirada do Módulo de Comando do Skylab 2.



## OS LIVROS DE PRISMA

1. EVOLUÇÃO DA VIDA  
*Catherine Jarman*
2. MAMÍFEROS  
*Michael Boorer*
3. FOGUETES E MÍSSEIS  
*John W. R. Taylor*
4. HEREDITARIEDADE  
*Ronald Withers*
5. O PLANETA TERRA  
*I. O. Evans*
6. O CORPO HUMANO  
*Paul Lewis e David Rubenstein*
7. ASTRONOMIA  
*Iain Nicolson*
8. O HOMEM FÓSSIL  
*Michael H. Day*
9. EXPLORAÇÃO SUBMARINA  
*Hen Roscoe*
10. MAGIA NEGRA E FEITIÇARIA  
*Peter Haining*
11. PLANTAS PARA CASA  
*Joan Compton*
12. ANIMAIS PRÉ-HISTÓRICOS  
*Barry Cox*
13. CARROS FAMOSOS  
*D. Burgess Wise*
14. ARQUEOLOGIA  
*Francis Celoria*
15. EXPLORAÇÃO DOS PLANETAS  
*Iain Nicolson*
16. COMPUTADORES  
*John Clark*
17. PREVISÃO DO TEMPO E CLIMA  
*A. G. Fordsdyke*
18. ENERGIA ATÔMICA  
*Matthew J. Gaines*
19. ELETRÔNICA  
*Roland Worcester*
20. CAVALOS  
*Judith Campbell*
21. ELETRICIDADE  
*D. R. G. Melville*
22. MATEMÁTICA  
*Charles Solomon*
23. REINO VEGETAL  
*Ian Tribe*
24. SERPENTES  
*John Stidworth*
25. ECOLOGIA E POLUIÇÃO  
*Mário Guimarães Ferri*
26. FÍSICA  
*Alan Isaacs e Valerie Pitt*
27. HISTÓRIA DO CALENDÁRIO  
*Hernâni Donato*
28. MITOS E LENDAS DA GRÉCIA ANTIGA  
*John Pinsent*
29. QUÍMICA  
*John O. E. Clark*
30. MITOS E LENDAS DO EGITO ANTIGO  
*T. G. H. James*
31. SOLOS — FORMAÇÃO E CONSERVAÇÃO  
*Igo Lepsch*
32. MITOS E LENDAS DE ROMA ANTIGA  
*John Gilbert*
33. ANIMAIS EM PERIGO  
*John Sparks*
34. VIDA MARINHA  
*John Croft*
35. MIGRAÇÃO ANIMAL  
*Torry Morrisson*
36. REINO ANIMAL  
*Sali Money*
37. ARQUITETURA  
*W. R. Dalzell*
38. VIDA PRÉ-HISTÓRICA  
*Josué Camargo Mendes*
39. HISTÓRIA NATURAL  
*Reg Harris*
40. AQUÁRIOS TROPICAIS  
Peixes de Água Doce  
*George Cust e Peter Bird*
41. PLANTAS PARA JARDINS  
*Oliver Dawson*
42. FELINOS  
*Michael Boorer*
43. ARRANJOS FLORAIS  
*Violet Stevenson*
44. AVES TROPICAIS  
*Clive Roots*
- CUIDADOS COM OS CÃES  
*Wendy Boorer*
- PEIXES DO MUNDO  
*Allan Cooper*
- RÉPTEIS DO MUNDO  
*Carl Gans*
- ESTRELAS, PLANETAS E GALÁXIAS  
*Sune Engelbrektson*
- INSETOS DO MUNDO  
*Jeanne Remington*





O maravilhoso mundo do conhecimento vive aumentando seus limites. Ao mesmo tempo, cresce a necessidade nas pessoas de saber cada vez mais sobre mais coisas. É por isso que existe a Série PRISMA. Uma série de livros onde cada faixa de conhecimento é tratada por um especialista de renome internacional, numa linguagem sempre clara e direta. E onde as informações são completas e atualizadas, valendo como um verdadeiro curso sobre a matéria. Como cada volume trata apenas de um assunto, o leitor tem a liberdade de escolher o que mais lhe interesse. Com uma grande novidade: a Série PRISMA-BRASIL, dentro da nova série PRISMA. São os estudiosos brasileiros que também dão sua visão dos grandes problemas universais. Continue formando sua biblioteca PRISMA. No mundo de hoje, é quase obrigatório ter uma visão múltipla das mais variadas áreas do saber. E a Série PRISMA oferece essa visão de modo fácil, colorido, barato e extremamente eficiente. É a verdadeira biblioteca da família moderna, aberta e inteligente.